



**Luiz Márcio
Henriques Bastos**

**Monitorização do desempenho energético e
ambiental de um veículo híbrido**



**Luiz Márcio
Henriques Bastos**

**Monitorização do desempenho energético e
ambiental de um veículo híbrido**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Francisco José Malheiro Queirós de Melo
Professor associado, do Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora auxiliar convidada, do Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Aveiro

Doutora Oxana Anatolievna Tchepel
Investigadora auxiliar, do CESAM – Centro de Estudos do Ambiente
e do Mar, da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Muitas foram as pessoas que durante a elaboração deste trabalho de alguma forma contribuíram para que este se realizasse. Esta é a minha forma de agradecer a sua participação.

A minha primeira referência vai para a minha orientadora, a Professora Doutora Margarida Coelho pela confiança no trabalho proposto e o apoio demonstrado durante a sua realização.

O meu agradecimento especial aos Engenheiros João Pedro Marques e Carlos Valentim da Toyota de Vila Nova de Gaia, que motivaram a realização deste trabalho e disponibilidade ao longo do mesmo.

Agradeço aos Engenheiros César Ribeiro e Hélio Costa da Toyota de Vila Nova de Gaia pelo fornecimento do software para o tratamento das medições realizadas.

À Sra. Manuela Lopes e ao Sr. Paulo Barreiros, ambos da Toyota de Cacia pela atenção e disponibilidade na reserva do automóvel e do aparelho de medição, de forma a tornar possível a realização dos ensaios.

Uma palavra de apreço também aos meus colegas de curso Nuno Dias e Ricardo Diniz pela disponibilidade e ajuda ao longo dos ensaios realizados.

Por fim referências muito especiais aos meus pais e ao meu irmão, pelo carinho e apoio constante, pelos seus constantes incentivos, ajuda e paciência.

A todos o meu sincero obrigado.

Palavras-chave

Veículos Híbridos, Consumo de combustível, Emissões de Dióxido de Carbono, Copert 4®, Medições Experimentais, Modelação.

Resumo

Os problemas relacionados com o consumo energético e emissões de poluentes relativos ao sector dos transportes representam seguramente a maior preocupação ao nível europeu no que respeita a cumprimento do Protocolo de Quioto e à poluição atmosférica. Uma das formas de resolver/minimizar este problema é através da aposta em novas tecnologias, como os combustíveis alternativos e modos alternativos de propulsão.

Os veículos híbridos (gasolina / eléctrico) constituem uma das novas opções tecnológicas com uma penetração efectiva no mercado. O facto de estes veículos possuírem um motor eléctrico juntamente com um motor de combustão interna, bem como sistemas de aproveitamento de energia (dos quais é exemplo o sistema de travagem regenerativa), faz esperar que os consumos de energia sejam mais baixos.

A presente Dissertação consistiu na realização experimental de ensaios em banco de rolos e em estrada, com a medição de consumo de energia e análise do desempenho do veículo através de perfis de velocidades e curvas de rendimento para diversas situações de circulação de um veículo. As situações abordadas foram: paragens e arranques sucessivos (“para-arranca”), circulação em rotundas, diversos perfis de velocidades para três tipos de condução (suave, intermédia e brusca) e um perfil de desaceleração imediatamente seguida de uma aceleração (de modo a simular uma passagem na faixa “Via Verde” de uma portagem). Foi ainda realizada uma modelação numérica com o modelo de emissões Copert 4, de forma a calcular o consumo de gasolina e emissões de CO₂ para diversos veículos da mesma gama (incluindo veículos híbridos), mas de idades diferentes. Posteriormente foi efectuada a comparação entre os resultados experimentais e os provenientes pela modelação numérica.

Os resultados obtidos entre as monitorizações experimentais revelam que os valores obtidos em banco de rolos para o consumo médio de gasolina são superiores em 51,4% relativamente aos testes em estrada, e por isso também em termos de emissão de CO₂ produzidas pelo motor de combustão interna, uma vez que os consumos de gasolina são proporcionais à quantidade de CO₂. Verifica-se uma semelhança entre os resultados obtidos em estrada e os provenientes da modelação numérica (os consumos médios de gasolina na modelação numérica diferem em 11,4% relativamente aos provenientes dos ensaios em estrada). Quando comparado com os consumos de veículos a gasolina da mesma categoria, o veículo híbrido é competitivo especialmente para meio urbano.

keywords

Hybrid vehicles, Fuel consumption, Carbon Dioxide Emissions, Copert 4®, Experimental measurements, Numerical Modeling.

abstract

The problems related to energy consumption and emissions of pollutants of the transport sector certainly represent a major concern at European level with regard to compliance with Kyoto Protocol and air pollution. One way to solve/minimize this problem is through the use of new technologies such as alternative fuels and alternatives propulsion modes. Hybrid vehicles (gasoline/electric) are one of the new technological options with an effective market penetration. The fact that they have an electrical engine along with an internal combustion engine as well as systems of energy use (such as the regenerative braking system), it is expected that the consumption of energy is lower.

This Master Thesis research involved experimental measurements of energy consumption for a hybrid vehicle on a dynamometer and on-road. The performance of a hybrid vehicle through several speed profiles was performed as well as efficiency curves for several situations. The analyzed situations were: stop and go situations, roundabouts, speed profiles for three driving types (calm, average and aggressive) and a profile of a deceleration followed by an acceleration in order to simulate the circulation in the “Green Lane” of a pay toll. Numerical modeling was also performed with Copert 4 model in order to calculate the fuel consumption and CO₂ emissions for several vehicles (including hybrids) with the same engine size, but with different ages. Finally, the comparison between the experimental results and the numerical modeling results was performed. The results obtained in the dynamometer for the average gasoline consumption are higher by 51.4% compared to on-road tests, and therefore also in terms of CO₂ emissions produced by internal combustion engine, since the consumption of petrol are proportional to the quantity of CO₂. There is a similarity between the results in from the road and numerical modeling (the average consumption of petrol in shaping numerical differ in relation to 11.4% from the trials on the road).

When compared with average fuel consumptions for similar gasoline vehicles, Toyota Prius is particularly competitive in urban situations (speeds below 50 km/h).

Índice

Nomenclatura	XV
1 Introdução	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objectivos	5
1.3 Estrutura da dissertação.....	5
2 Veículos híbridos.....	7
2.1 Tecnologia híbrida.....	7
2.1.1 Geral.....	7
2.1.2 Sistema híbrido em série	10
2.1.3 Sistema híbrido em paralelo	10
2.1.4 Sistema híbrido misto.....	11
2.2 Benefícios ambientais e técnicos.....	13
2.3 Incentivos	14
2.4 Toyota Prius	15
2.4.1 Modo de funcionamento.....	16
2.5 Componentes e características técnicas do veículo híbrido - Toyota Prius.....	23
2.5.1 Características do sistema híbrido THS II.....	24
2.5.2 Componentes.....	28
2.5.3 Desempenhos	32
2.6 Revisão Bibliográfica.....	32
3 Metodologia	34
3.1 Especificações do veículo	35
3.2 Caracterização do sistema OBD utilizado.....	36
3.3 Condições de ensaio	40
3.4 Monitorização em estrada	41

3.5	Monitorização em banco de rolos.....	43
3.6	Copert 4 [®]	48
3.7	Consumo de combustível	50
3.8	Cálculo de emissões de CO ₂	51
4	Resultados obtidos e sua discussão	52
4.1	Monitorização experimental em estrada.....	52
4.1.1	Pára – arranca	53
4.1.2	Ensaio para diferentes perfis de velocidades	56
4.1.3	Rotundas	67
4.1.4	120 – 60 – 120 [km/h]	68
4.1.5	Variação de SOC da bateria	70
4.2	Monitorização experimental em banco de rolos.....	71
4.2.1	Ensaio para diferentes perfis de velocidade em banco de rolos.....	72
4.3	Modelação numérica através do Copert 4 [®]	80
4.4	Comparação das monitorizações realizadas experimentalmente com os resultados da modelação numérica.....	83
5	Conclusão e trabalho futuro	86
6	Bibliografia.....	91
7	Anexos.....	95
7.1	Anexos I	95
7.2	Anexos II	96
7.2.1	Copert 4	96
7.2.2	Sistema OBD	98
7.3	Pára-arranca curto.....	100
7.4	Pára-arranca longo.....	102
7.5	Ensaio para diferentes perfis de velocidade em estrada.....	104
7.6	Ensaio para diferentes perfis de velocidade em banco de rolos.....	113

Índice de Figuras

Figura 1: Perspectiva portuguesa do protocolo de Quioto [2] [15].	1
Figura 2: Evolução da emissão de CO ₂ no mundo [37]	3
Figura 3: Soluções para o sector dos transportes	7
Figura 4: Esquema de funcionamento do Toyota Prius [35]	8
Figura 5: Sistema Híbrido em série [20]	10
Figura 6: Sistema Híbrido em paralelo [20]	11
Figura 7: Configuração do sistema misto (split) [20]	12
Figura 8: Funcionamento em cada sistema [35]	13
Figura 9: Esquema de funcionamento misto dos motores [35]	15
Figura 10: Componentes do Toyota Hybrid System [34]	16
Figura 11: Distribuição de energia durante o arranque [40]	17
Figura 12: Funcionamento sem arranque do motor [35]	17
Figura 13: Funcionamento com arranque do motor [35]	18
Figura 14: Distribuição de energia durante a condução normal [40]	18
Figura 15: Funcionamento em condução normal [35]	19
Figura 16: Distribuição de energia durante a aceleração [40]	19
Figura 17: Funcionamento em aceleração [35]	20
Figura 18: Motor eléctrico como gerador na desaceleração [40]	20
Figura 19: Funcionamento em desaceleração [35]	21
Figura 20: Funcionamento em marcha – atrás [35]	21
Figura 21: Recarregamento da bateria [40]	22
Figura 22: Modo 100% eléctrico [6]	22
Figura 23: Disposição dos componentes principais da caixa do Toyota Prius [35]	23
Figura 24: Circuito de alta voltagem e sistema ECU HV [35]	24
Figura 25: Composição principal do sistema de travagem de controlo electrónico [41]	25

Figura 26: Sistema de refrigeração do Toyota Prius [2].....	27
Figura 27: Ciclo teórico de Atkinson [26].....	28
Figura 28: Trem planetário [20]	30
Figura 29: Conjunto inversor [35].....	31
Figura 30: Fluxograma da Dissertação.....	35
Figura 31: Sistema de códigos da OBD II [26]	37
Figura 32: Sistema OBD Intelligent Tester II [®] utilizado durante o estudo	38
Figura 33: Monitor do computador de bordo do Toyota Prius.....	41
Figura 34: Exemplos de pára-arrancas realizados.....	42
Figura 35: Forças que se opõem ao movimento [27]	44
Figura 36: a) Banco de rolos, b) Veículo no banco de rolos, c) Monitor de configuração	47
Figura 37: Perfil de Velocidades durante as situações de pára - arrancas curtos.	53
Figura 38: Perfil de Velocidades durante as situações de pára - arrancas longos.	54
Figura 39: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 50 km/h.	57
Figura 40: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 50 km/h.....	57
Figura 41: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 70 km/h.	60
Figura 42: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 70 km/h.....	60
Figura 43: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 90 km/h.	62
Figura 44: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 90 km/h.....	62
Figura 45: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 120 km/h.	64
Figura 46: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 120 km/h.....	65
Figura 47: Perfil de velocidade para as duas situações de rotunda abordadas.	67
Figura 48: Perfil de velocidades de um ensaio de 120 - 60 -120 [km/h].....	69
Figura 49: Exemplo de um perfil para uma velocidade de 120 km/h.....	70
Figura 50: Respectiva variação de SOC para o perfil anterior.	71
Figura 51: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 50 km/h.	72
Figura 52: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 50 km/h.	72

Figura 53: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 70 km/h.	74
Figura 54: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 70 km/h.	74
Figura 55: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 90 km/h.	76
Figura 56: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 90 km/h.	76
Figura 57: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 120 km/h.	78
Figura 58: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 120 km/h.	78
Figura 59: Consumo de gasolina para vários veículos.	80
Figura 60: Factores de emissão de CO para os veículos analisados.....	81
Figura 61: Factor de emissão de NOx	82
Figura 62: RVP/Beta	96
Figura 63: Exemplo de um perfil do curso do acelerador em alguns pára-arrancas curtos analisados.	100
Figura 64: Binários dos motores eléctricos em alguns pára-arrancas curtos.....	100
Figura 65: Tensão da bateria em alguns pára-arrancas curtos.....	101
Figura 66: Perfil de velocidade do motor de combustão interna para alguns pára-arrancas curtos analisados.	101
Figura 67: Exemplo de um perfil de curso do acelerador em alguns pára-arrancas longos analisados.	102
Figura 68: Binários dos motores eléctricos em alguns pára-arrancas longos.....	102
Figura 69: Tensão da bateria em alguns pára-arranca longos analisados.....	103
Figura 70: Perfil de velocidade rotação do motor de combustão interna para alguns pára-arranca longos analisados.	103
Figura 71: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 50 km/h.....	104
Figura 72: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h.....	104
Figura 73: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h.....	105
Figura 74: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 70 km/h.....	105
Figura 75: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h.....	106
Figura 76: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h.....	106
Figura 77: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 90 km/h.....	107

Figura 78: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h.....	107
Figura 79: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h.....	108
Figura 80: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 120 km/h.....	108
Figura 81: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.....	109
Figura 82: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.....	109
Figura 83: Exemplo do perfil de aceleração para um ensaio em rotunda sem paragem à entrada da mesma.....	110
Figura 84: Exemplo do perfil de consumo para um ensaio em rotunda sem paragem à entrada da mesma.....	110
Figura 85: Exemplo do perfil de velocidade de rotação do MCI para um ensaio em rotunda sem paragem à entrada da mesma.....	111
Figura 86: Exemplo do perfil de aceleração para um ensaio em rotunda com paragem à entrada da mesma.....	111
Figura 87: Exemplo do perfil de consumo para um ensaio em rotunda com paragem à entrada da mesma.....	112
Figura 88: Exemplo do perfil de velocidade de rotação do MCI para um ensaio em rotunda com paragem à entrada da mesma.....	112
Figura 89: Exemplo do perfil de aceleração para um ensaio em 120 km/h - 60 km/h - 120 km/h.	113
Figura 90: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h.....	113
Figura 91: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h.....	114
Figura 92: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h.....	114
Figura 93: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h.....	115
Figura 94: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h.....	115
Figura 95: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h.....	116
Figura 96: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.....	116
Figura 97: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.....	117

Índice de Tabelas

Tabela 1: Características do motor de combustão interna [6] [33] [35].....	28
Tabela 2: Características da bateria [6] [33] [35].....	29
Tabela 3: Características do MG1 e MG2 [6] [33] [35].....	29
Tabela 4: Valores do desempenho ambiental do Toyota Prius [6].....	32
Tabela 5: Características principais do sistema Intelligent Tester II®[11]	39
Tabela 6: Estudos realizados sobre situações de pára-arranca [7] [8] [9] [10].....	42
Tabela 7: Caracterização dos ensaios realizados em estrada.....	43
Tabela 8: Caracterização dos ensaios realizados em banco de rolos.....	47
Tabela 9: Pressão de vaporização da gasolina sem chumbo [12].....	48
Tabela 10: Resultados médios obtidos para um pára-arranca curto.	53
Tabela 11: Resultados obtidos para cada pára – arranca longo efectuado.	54
Tabela 12: Resultados obtidos para a velocidade de 50 km/h e diferentes tipos de condução.	58
Tabela 13: Resultados obtidos para a velocidade de 70 km/h e diferentes tipos de condução.	61
Tabela 14: Resultados obtidos para a velocidade de 90 km/h e diferentes tipos de condução.	63
Tabela 15: Resultados obtidos para a velocidade de 120 km/h e diferentes tipos de condução.	66
Tabela 16: Resultados obtidos em situações de rotundas.....	68
Tabela 17: Resultados obtidos para ensaios efectuados em situação de 120 - 60 - 120 [km/h].....	69
Tabela 18: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 50 km/h e diferentes tipos de condução.	73
Tabela 19: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 70 km/h e diferentes tipos de condução	75
Tabela 20: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 90 km/h e diferentes tipos de condução	77
Tabela 21: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 120 km/h e diferentes tipos de condução.....	79
Tabela 22: Valores de consumo médio de gasolina obtidos para as fases do estudo	83
Tabela 23: Normas de Emissões (na UE) para veículos ligeiros [g/km].....	95

Tabela 24: Valores de consumo de combustível em [g/km] para diferentes modos de propulsão de acordo com a velocidade.	96
Tabela 25: Factores de emissão a quente para veículos a gasolina [20].....	97
Tabela 26: Emissão de partículas para veículos a gasolina [20]	97
Tabela 27: Factores de emissão para veículos híbridos [20].....	97
Tabela 28: Características do aparelho de medição.	98

Nomenclatura

AC – *Tensão Alternada*

CO – *Monóxido de carbono*

CO₂ – *Dióxido de carbono*

CH₄ – *Metano*

DC – *Tensão Contínua*

GEE – *Gases de efeito de estufa*

HC – *Hidrocarbonetos*

ISV – *Imposto sobre veículos*

m – *Massa*

M – *Massa molar*

MCI – *Motor de combustão interna*

MG1 – *Alternador/Gerador*

MG2 – *Motor eléctrico*

n – *Número de moles*

NiMH – *Hidreto metálico de níquel*

NO_x – *Óxido de azoto*

N₂O – *Óxido Nitroso*

OBD – *Sistema de diagnóstico a bordo*

O₃ - *Ozono*

PEMS – *Medidor portátil de emissões*

PM - *Partículas*

R.P.M. – *Rotações por minuto*

RVP – *Pressão de vaporização*

SOC – *Estado de carga da bateria*

SO₂ – *Dióxido de enxofre*

UE – *União Europeia*

VOC – *Compostos orgânicos voláteis*

ρ - *Massa específica*

1 Introdução

1.1 Motivação

Os meios de transporte possibilitam o acesso dos cidadãos aos mais variados bens e serviços, sendo essenciais ao bem-estar e ao desenvolvimento económico. Mas este sector gera, no entanto, efeitos negativos no ambiente que podem contribuir para a diminuição de qualidade de vida.

A abordagem desta problemática é enquadrada, formalmente, ao nível mundial, com a criação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas, em 1988 com a assinatura da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, em 1992 na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro, em 1997 no Protocolo de Quioto, e em 2002 na Cimeira de Joanesburgo.

Conforme dados do Protocolo de Quioto, o sector dos transportes é aquele que emite mais gases de efeito de estufa (GEE). Ao todo representam 30% das emissões totais de GEE [28].

Sobre o aumento das emissões de gases com efeito de estufa em Portugal, baseado num relatório da Agência Europeia do Ambiente [1], Portugal teria aumentado, em 2005, as emissões de gases com efeito de estufa em 40,4% relativamente às emissões de 1990, um valor claramente acima dos objectivos nacionais assumidos no Protocolo de Quioto. De acordo com este Protocolo, Portugal poderia aumentar as suas emissões de gases com efeito de estufa em 27% entre 2008 e 2012. Este aumento permitiria o crescimento económico do país, bem como a melhoria das condições de vida das populações de modo a atingir o nível médio europeu. No mesmo período, o conjunto de todos os Estados-Membros estaria obrigado a reduzir em 8% as emissões destes gases, relativamente a 1990. A Figura 1 ilustra a perspectiva do Protocolo de Quioto.

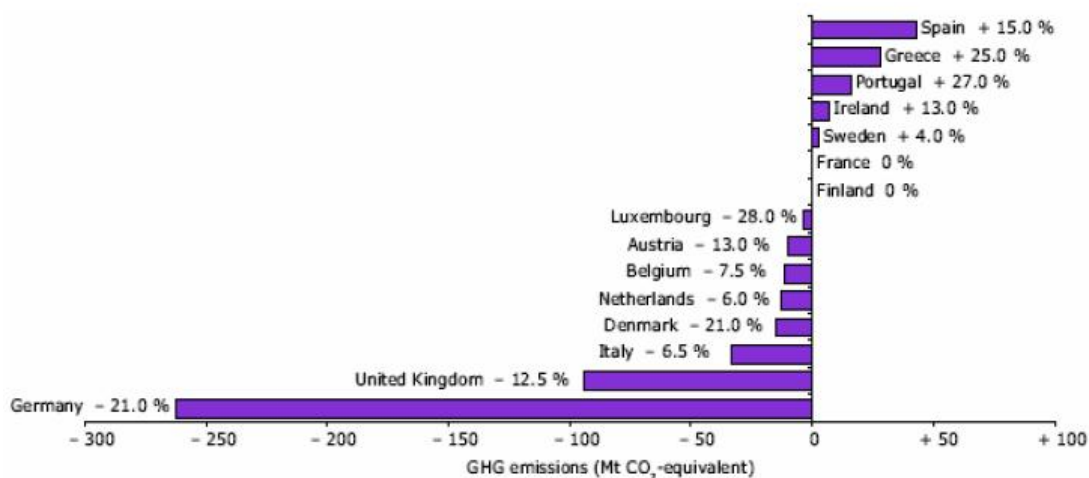


Figura 1: Perspectiva Portuguesa do protocolo de Quioto [2] [15]

Nesse caso, pode-se concluir que o sector dos transportes tem vindo a contribuir de forma crescente nos últimos anos para o aumento da emissão de GEE, principalmente pelo acréscimo de veículos de passageiros por toda a Europa, em contraposição à redução ou estabilização de emissões verificada na maioria dos outros sectores. Logo, este sector é um dos principais responsáveis pelas alterações ambientais associadas à utilização de combustíveis fósseis, contribuindo em grande escala para o impacto energético que actualmente se verifica, devido às quantidades de emissões de GEE que reforçam a possibilidade de efeito de estufa, de alterações climáticas no futuro e também pelas emissões de poluentes atmosféricos.

No domínio da política e situação energética importará, desde logo, no plano nacional, sublinhar a actual forte dependência externa em energia primária e a escassa diversificação de fontes energética que determinam uma estratégia política de incremento do consumo de gás natural, de aposta na promoção de energias renováveis e de melhoria da eficiência energética. Tal orientação decorre, para além da minimização do impacte ambiental, da necessidade de corrigir a actual situação energética Portuguesa caracterizada essencialmente por excessiva dependência externa (igualmente para toda a União Europeia (UE)), que equivale a cerca de 90% [13] das necessidades em energia primária. Acresce a isto a insuficiente diversificação de fontes energéticas, pois o petróleo representa uma parte significativa do consumo total de energia primária e 98% do consumo no sector dos transportes [13].

Face a isso, o sector dos transportes, tem um peso muito significativo no consumo de energia final e, ainda mais preocupante, revela uma tendência de crescimento do consumo muito superior aos outros sectores da economia, sendo que o modo rodoviário é responsável pela maior parcela, cerca de 86% e 83%, respectivamente em Portugal e na UE [28].

A posição de relevo do sector dos transportes no consumo de energia tem determinado, além das implicações económicas, um aumento na produção global *per capita* de dióxido de carbono (CO₂), respectivamente de 80% em Portugal e de 16,5% na UE, no período de 1990 a 2002. Dado que o modo rodoviário é por si só responsável, a nível nacional, por 30% da produção de CO₂, verifica-se uma situação desfavorável na relação entre transportes e impacte ambiental global, que importa ter em conta e contrariar [28].

Por todas estas consequências, há muito que a UE tem vindo a pressionar os construtores automóveis, impondo normas ambientais cada vez mais rigorosas na tentativa de atingir as metas ambientais mais desejadas. De acordo com a mais recente meta fixada pela UE, os carros novos vendidos na Europa devem emitir a partir de 2012 em média 120 gramas de CO₂ por quilómetro, contra a actual média de 160 g/km [23].

Apesar de os automóveis de passageiros serem cada mais eficientes, fruto das várias medidas introduzidas, o decréscimo resultante das emissões específicas de CO₂ dos automóveis tem sido largamente superado pelo crescimento dos transportes. Tal facto traduz-se num crescimento total de cerca de 20 % [14] das emissões de CO₂ devidas ao transporte rodoviário.

Os actuais compromissos assumidos pela indústria automóvel no sentido de reduzir as emissões de CO₂ expiram em 2008/09. Por conseguinte, há que clarificar qual o futuro regime a aplicar nesta área, alargando o âmbito de aplicação de modo a cobrir os transportes e garantindo que os ciclos de ensaios reflectam condições reais de condução [14].

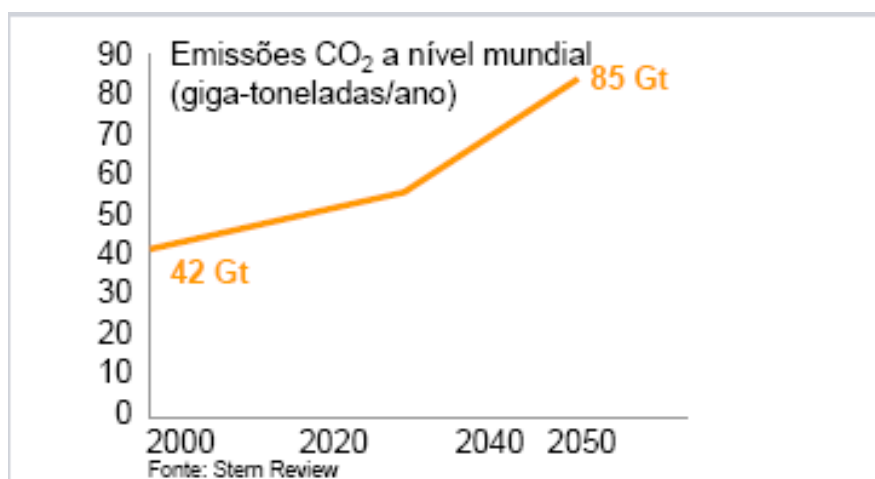


Figura 2: Evolução da emissão de CO₂ no mundo [37]

Relativamente às emissões de poluentes nocivos (emissões poluentes antropogénicas) dos veículos rodoviários, regista-se uma quebra significativa no conjunto dos países da UE, ao contrário do que se verifica em Portugal, onde as emissões de óxido de azoto (NO_x) cresceram em 48,5% [28] e dos compostos orgânicos voláteis (VOC) em 27,5% [28], fruto do acréscimo de tráfego automóvel.

Esta regressão deve-se às normas comunitárias relativas às emissões dos veículos rodoviários, objecto de um reforço sucessivo que teve início no começo dos anos 90 e que se encontra ainda em curso. Essas legislações, igualmente designadas por EURO são muito rigorosas, os seus limites em g/km foram estabelecidos inicialmente pela Directiva 70/220/CE a qual tem sido objecto de sucessivos aditamentos. Das directivas mais importante, realça-se as Directivas 74/290/CE, 77/102/CE (para limites de NO_x) e 93/59/CE, 94/12/CE, 96/69/CE, 98/69/CE (para os limites EURO 3 e 4 e OBD – “Sistema de diagnóstico a bordo”) e por fim 99/102/CE (OBD) [28].

As emissões de poluentes regulamentados na Europa diminuíram de 35 % para 24% (não contando com a aviação internacional e a navegação marítima) [28].

Todavia, apesar da redução da poluição atmosférica causada pelos transportes rodoviários, existem ainda graves problemas ligados à qualidade do ar nas zonas urbanas. De facto, são necessárias outras iniciativas que reduzam a exposição das pessoas a poluentes nocivos para a saúde.

O sector dos transportes é responsável por três tipos de impactes ambientais: o impacte local, regional e global.

- **Local** – contribui para a poluição atmosférica, através da emissão poluentes tais como: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), NO_x, partículas (PM) e ruído [1].
- **Regional** – chuvas ácidas: NO_x, e dióxido de enxofre (SO₂). Nevoeiro fotoquímico: NMHC e NO_x [1].
- **Global** – Efeito de estufa: CO₂, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozono (O₃) [1].

Além do impacte sobre o clima e qualidade do ar, há ainda a considerar outros impactes relacionados com o sector dos transportes: vibrações, ocupação do espaço vital, poluição do solo e da água, alteração da paisagem e de habitats naturais, degradação do património e resíduos [28].

Por tudo isto, a motivação para a realização desta dissertação tem como base a análise da introdução das medidas de forma a reduzir as GEE, as emissões de poluentes atmosféricos bem como o consumo de combustível (proveniente do petróleo) no sector dos transportes. Essas medidas políticas, ambientais e energéticas permitem o desenvolvimento sustentável no futuro de forma a efectuar uma utilização racional dos recursos energéticos e a minimização do impacte ambiental no âmbito das diversas actividades humanas.

Algumas das iniciativas para controlar o impacte ambiental e energético, passa sobretudo por legislação por parte de entidades públicas, pela evolução dos combustíveis utilizados (tipo, origem, qualidade e alternativas), pela introdução de medidas para o controlo e minimização de tráfego, incentivo a novos hábitos de condução, pela renovação e manutenção de veículos, e por possibilitar a evolução e inovação tecnológica de forma a implementar novos sistemas de propulsão com o intuito de garantir uma melhor eficiência energética [28].

Para melhorar a eco - eficiência e segurança dos transportes impõe-se o recurso a instrumentos políticos, tais como, regulamentação de aspectos técnicos, dos preços e taxas dos combustíveis, modos alternativos de propulsão e aspectos de ordenamento do território, de forma a integrar as preocupações ambientais nas políticas de transporte e prosseguir o que se poderia apelidar de uma "mobilidade sustentada".

Por isso, reduzir a poluição ambiental é hoje um objectivo mundial. Todos os dias tomamos conhecimento de estudos indicando os males do efeito de estufa e medidas para o combater.

Algumas das medidas para o sector dos transportes, têm em conta avanços tecnológicos de forma a promover meios alternativos de propulsão.

Os veículos híbridos são um desses meios alternativos de propulsão, pelo que ao longo deste trabalho será analisado o desempenho de um determinado veículo híbrido do mercado (Toyota Prius), relativamente aos seus consumos de combustível e as emissões de CO₂ produzidas em diferentes situações. Pretende-se com este estudo, consciencializar a sociedade para aderir a novas tecnologias (tecnologia híbrida) que permitem satisfazer os desafios ambientais de forma a melhorar a qualidade local do ar, através da redução de poluentes NO_x, CO, HC e de PM, evitar possíveis mudanças climáticas, através do

controlo de emissões de CO₂ e promover a redução da dependência energética de combustíveis fósseis.

1.2 Objectivos

Dados os actuais problemas a nível energético, pretende-se monitorizar o desempenho energético e ambiental de um veículo híbrido (Toyota Prius), de forma a que os resultados reflectam qual a implicação da implementação da propulsão híbrida para a sociedade e para o ambiente, de modo a comprovar se trata-se de uma melhor solução em termos técnicos, económicos e ambientais. Deste modo, o presente estudo terá subjacente a realização de ensaios em banco de rolos e em estrada, medindo o consumo de energia e analisando o desempenho do veículo através de perfis de velocidades e curvas de rendimento para diferentes condições, com o intuito de realizar uma análise tão correcta e global dos parâmetros ambientais e energéticos deste modo alternativo de propulsão. Será realizada a comparação de resultados entre as monitorizações experimentais em banco de rolos e em estrada para situações específicas.

Será efectuada uma modelação numérica através do modelo de emissões Copert 4[®] [17], para a análise de um veículo híbrido, fazendo uma comparação com veículos da mesma gama (cilindrada e tipo) a gasolina, abrangidos por diferentes normas EURO (idades diferentes), bem como uma comparação com as monitorizações experimentais realizadas.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

Numa *primeira parte* (capítulo 1 - Introdução) descrevem-se as motivações deste estudo e o interesse actual sobre o tema. É feita referência aos problemas actuais do sector dos transportes e como estes influenciam directamente o ambiente, através das emissões de gases de escape e principalmente as emissões de CO₂ que contribuem para a degradação da qualidade de vida. Indicam-se os principais poluentes atmosféricos e comentam-se propostas para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa com base no Protocolo de Quioto, nas medidas já tomadas pela Comissão Europeia e as medidas fiscais como um dos meios de reduzir as emissões de CO₂ por parte dos veículos automóveis.

Faz-se também referência aos objectivos do estudo, os resultados que se pretende obter, bem como as monitorizações experimentais que se irão realizar.

Numa *segunda parte* (capítulo 2) é feita a revisão bibliográfica com o intuito de estabelecer o “estado da arte”. Nesta fase, faz-se referência às tecnologias utilizadas com a

finalidade de reduzir as emissões e o consumo de combustível, principalmente a tecnologia híbrida.

Pretende-se descrever a tecnologia híbrida em geral, o modo de funcionamento deste meio alternativo de propulsão, diferentes configurações existentes de propulsão híbrida, caracterização do Toyota Prius, do seu sistema híbrido, caracterização dos componentes mais importantes, e vantagens e desvantagens que esta propulsão possui. No fundo, pretende-se descrever as principais diferenças entre a propulsão híbrida, através do Toyota Prius e a tecnologia convencional dos veículos.

Referenciam-se estudos já realizados sobre este tema e conclusões obtidas.

Na *terceira parte* (capítulo 3), é feita a descrição da metodologia aplicada para a realização deste estudo. Referencia-se o aparelho de medição, as suas características principais e modo de funcionamento.

São comentadas as principais aplicações do modelo de emissões Copert 4[®] [17], as equações utilizadas, os parâmetros de entrada necessários e os resultados que este modelo fornece. São explicitadas as monitorizações realizadas e descrita a metodologia para cada monitorização experimental bem como as condições dos ensaios. Indicam-se as expressões utilizadas no tratamento dos resultados obtidos.

Na *quarta parte* (capítulo 4) apresentam-se os resultados obtidos. Numa etapa inicial, estes resultados serão analisados individualmente de acordo com a monitorização realizada, e só posteriormente serão feitas as comparações dos resultados entre as monitorizações experimentais em banco de rolos e em estrada para situações específicas, e também a comparação com os resultados obtidos por modelação numérica.

Na *quinta parte* (capítulo 5) referenciam-se as principais conclusões deste estudo, e possíveis trabalhos futuros sobre este tema.

2 Veículos híbridos

De forma a reduzir o consumo de combustível e as emissões para o ambiente no sector dos transportes, foram desenvolvidas várias técnicas, umas mais viáveis que outras, que estão distribuídas por dois grupos: combustíveis alternativos e modos alternativos de propulsão.

Combustíveis alternativos

- GPL
- Gás Natural
- Biocombustíveis (biodiesel, bioetanol e álcool)
- Hidrogénio

Modos alternativos de propulsão

- Veículos Híbridos
- Veículos eléctricos convencionais
- Veículos eléctricos com pilhas de combustível

Figura 3: Soluções para o sector dos transportes

Devido ao tema em estudo, irei apenas aprofundar a tecnologia híbrida como modo alternativo de propulsão.

2.1 Tecnologia híbrida

2.1.1 Geral

Nos dias que correm existe a preocupação das entidades governamentais em criar legislações que favoreçam e regulamentem o ambiente e o consumo de combustível. Assim, a indústria automóvel tem investido muito no desenvolvimento de novas tecnologias, com o intuito de criar alternativas mais económicas no consumo de combustível, surgindo assim o veículo híbrido.

O veículo híbrido é caracterizado pelo uso de duas fontes distintas de energia para a sua movimentação: um motor eléctrico e uma unidade de força auxiliar. Para além disto, possui também um dispositivo acumulador de energia (bateria). A unidade de força auxiliar e a bateria fornecem energia para um motor eléctrico directamente acoplado às

rodas do veículo, sendo essa energia mecânica finalmente transferida ao eixo tractor por este motor eléctrico, auxiliando deste modo a potência inicialmente fornecida pela unidade de força auxiliar às rodas [3] [38]. A Figura 4 ilustra o funcionamento do sistema híbrido do Toyota Prius.

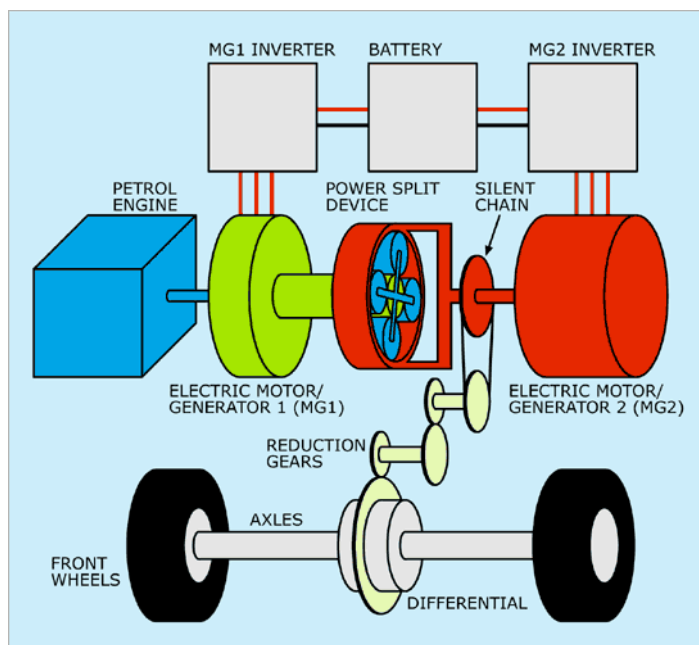


Figura 4: Esquema de funcionamento do Toyota Prius [35]

A unidade de força auxiliar utilizada no sistema híbrido é o motor de combustão interna (MCI), todavia, este motor poderá conter ciclos termodinâmicos diferentes (exemplo: ciclo Otto, ou ciclo de Atkinson). O motor gera a energia que é transferida para um gerador acoplado ao motor eléctrico, que transforma a energia mecânica em energia eléctrica. De igual modo, a energia pode ser transferida para a bateria, que passa a guardá-la para uso posterior.

Os veículos híbridos combinam as baterias e o motor eléctrico com o motor de combustão interna dos veículos convencionais. Esta combinação permite que o motor térmico funcione em regime aproximadamente permanente, a que corresponde o mínimo de emissões e de consumo de combustível. Estas condições são garantidas pelo motor eléctrico, que é usado para aceleração e sempre que o binário disponibilizado pelo motor de combustão interna não seja suficiente [30].

Quando a potência debitada pelo motor de combustão interna é superior à necessária para o movimento do veículo (períodos de desaceleração), a energia em excesso é utilizada para carregar as baterias. Este tipo de sistema permite que se tenham poupanças de combustível e reduções das emissões dos gases de combustão até cerca de 50%, relativamente aos veículos convencionais, ao mesmo tempo que continuam garantidas a elevada autonomia e o rápido reabastecimento obtidas num veículo convencional.

As baterias destes veículos são seleccionadas de acordo com alguns parâmetros, tais como; tempo de vida, potência máxima, capacidade e eficiência energética pretendida.

Portanto, estes acumuladores de energia têm uma importância vital, e por isso foi necessário o desenvolvimento de baterias com densidade adequada de forma a garantir um bom funcionamento destes sistemas.

O sistema de baterias a hidreto metálico de níquel (NiMH) é, ao lado do sistema de ião – lítio (estas duas possuem maior potência específica), o mais promissor sistema de baterias para veículos híbridos e eléctricos. Estas tecnologias são preferidas à tecnologia tradicional de baterias à base de chumbo e também as de níquel – cádmio por razões de densidade de energia, densidade de potência e potência de saída em baixo estado de carga. As baterias de NiMH e ião – lítio por possuírem maior potência específica, são mais aptas a aceitar os altos níveis de pico de potência associados ao processo de travagem regenerativa [4] [39].

É necessário que se garanta o funcionamento da bateria dentro de um intervalo de temperaturas, intensidade de corrente e tensão. Isso é garantido através de uma unidade de controlo, que verifica permanentemente e gere os parâmetros da bateria e, se necessário, intervêm e faz as devidas correcções para manter a bateria dentro do seu funcionamento correcto (este assunto será explicado posteriormente) [39].

Em suma, o conjunto de baterias recebe energia para ser acumulada de duas formas:

- Directamente do motor de combustão, passando pelo gerador.
- Através de um sistema de regeneração de energia, que entra em funcionamento sempre que o veículo inicia o processo de travagem e desaceleração.

No futuro pretende-se que estas baterias possuam uma maior capacidade, desempenho, que sejam mais leves e que tenham uma eficiência superior para que os sistemas híbridos sejam mais poderosos.

Existem três tipos de configurações de veículos híbridos, o sistema híbrido em série, o sistema híbrido em paralelo e o sistema híbrido misto (paralelo/série). Cada um destes sistemas é descrito em detalhe nas secções seguintes.

2.1.2 Sistema híbrido em série

No **sistema híbrido em série**, apenas o motor eléctrico é acoplado directamente ao eixo de tracção do veículo, sendo o único responsável pela sua movimentação, logo, este motor eléctrico é instalado de forma independente do motor de combustão interna. O motor de combustão interna é ligado a um gerador, que por sua vez transforma a energia e a transfere ao motor eléctrico para carregar as baterias e para movimentar o veículo, podendo assim o motor de combustão interna ser ajustado para trabalhar a uma rotação constante, em um ponto de alta eficiência, onde tanto o consumo de combustível, quanto as quantidades de poluentes emitidos são menores, constituindo esta, a grande vantagem deste arranjo em série. O conjunto de baterias entra em acção justamente nos momentos em que a potência gerada pelo motor de combustão interna é insuficiente para deslocar o veículo. Nesse caso, o motor eléctrico passa a receber energia das duas fontes simultaneamente.

A desvantagem associada a este arranjo, tem como base as perdas que ocorrem durante o processo de conversão múltipla de energia [4] [38]. A Figura 5 ilustra o sistema híbrido em série.

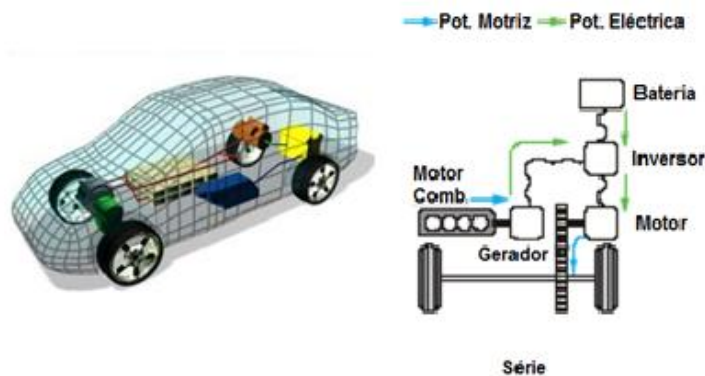


Figura 5: Sistema Híbrido em série [20]

2.1.3 Sistema híbrido em paralelo

Existem diferentes configurações para este tipo de sistema, mas de uma forma geral, e consoante o esquema da Figura 6, no **sistema híbrido em paralelo**, tanto o motor eléctrico quanto o motor de combustão interna são acoplados ao eixo de tracção, actuando ambos de forma independente no accionamento das rodas do veículo.

A propulsão do veículo é feita pela actuação exclusiva do motor de combustão interna (fonte principal do sistema) ou pela acção simultânea dos dois motores,

dependendo do nível de desempenho requerido ao veículo e da eficiência de cada motor, ou seja, o regime de funcionamento destas duas fontes de potência é variável segundo a solicitação de carga.

Nesta configuração, o motor eléctrico tem a função de motor e gerador, contrariamente ao que ocorre na configuração em série, onde existe um gerador para além do motor eléctrico. Por isso, quando o motor eléctrico estiver a carregar as baterias, este não poderá ser utilizado para accionar as rodas do veículo, sendo de um modo geral, apenas utilizado nesta configuração para auxílio em condições de aceleração e subidas.

Em condições mais exigentes, como no caso de declives prolongados, o conjunto de baterias também entra acção, alimentando o motor eléctrico com a energia adicional necessária [4].

No sistema em paralelo o conjunto de baterias acumula energia apenas através do sistema de regeneração e nunca através da contribuição do motor de combustão interna [30].

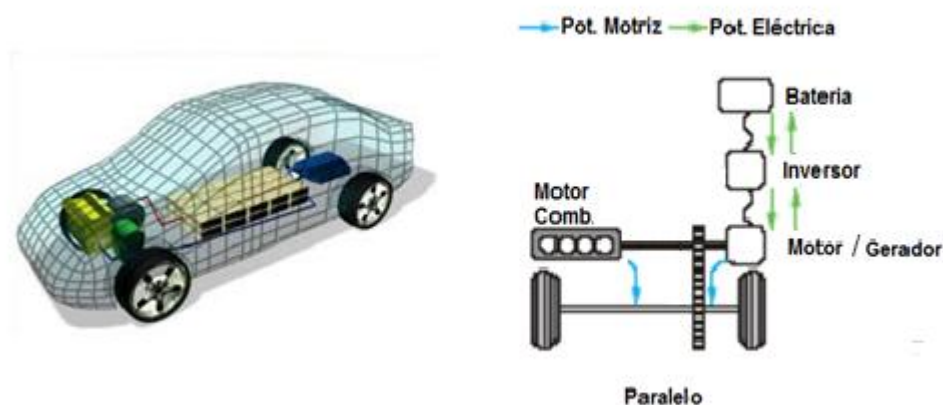


Figura 6: Sistema Híbrido em paralelo [20]

2.1.4 Sistema híbrido misto

O sistema misto é designado pelo uso das duas configurações anteriores (série e paralelo) com o objectivo de maximizar os benefícios de ambos. Este sistema permite fornecer energia para as rodas do veículo e gerar electricidade simultaneamente, utilizando um gerador, diferentemente do que ocorre na configuração paralela simples. É possível usar somente o sistema eléctrico, dependendo das condições de carga, ou a actuação dos dois motores de forma simultânea.

Este arranjo utiliza uma engrenagem planetária (trem planetário) que será explicada adiante neste estudo, mas, basicamente serve para dividir a potência gerada pelo motor de combustão interna. Uma parte desta potência vai directamente para a transmissão e a outra parte alimenta o gerador que fornecerá a energia para o motor eléctrico e/ou para a bateria.

Esta divisão é variável, e é por esta razão que o motor eléctrico é utilizado com muito mais frequência neste arranjo quando comparado ao sistema paralelo [4].

Logo neste caso, devido à utilização de um trem planetário, a bateria recebe energia através do processo de travagem regenerativa e também pela contribuição do motor de combustão interna. A Figura 7 representa a configuração do sistema híbrido misto.

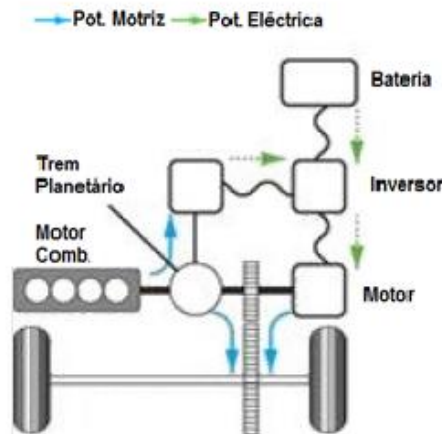


Figura 7: Configuração do sistema misto [20]

Ambos os sistemas híbridos mencionados apresentam vantagens e desvantagens técnicas, e estas acabam por ajudar a definir em que condições o uso de um ou outro sistema é mais recomendado. De uma forma geral, os sistemas híbridos em série são mais recomendados para utilização urbana, onde o trânsito constantemente lento favorece o sistema de baterias que passam a acumular energia antes que sejam totalmente descarregadas. Já os sistemas em paralelo, são mais aplicáveis para utilização fora dos centros urbanos, onde se verifica uma maior fluidez de tráfego e as exigências em termos de desempenho são maiores.

Estes veículos de propulsão híbrida têm inúmeros componentes que originam um sistema de tecnologia inteligente, de maneira a colocar em prática o desempenho e economia. Na Figura 8, pode-se analisar a capacidade de participação do motor de combustão interna e do motor eléctrico em cada um dos sistemas mencionados anteriormente [5].

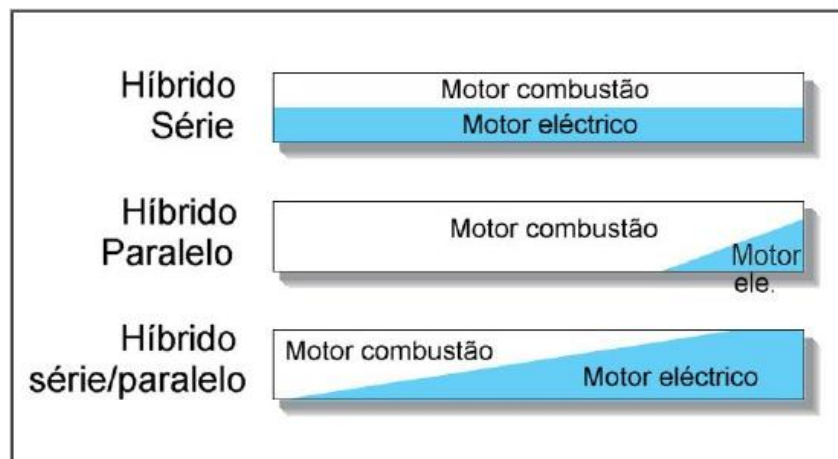


Figura 8: Funcionamento em cada sistema [35]

2.2 Benefícios ambientais e técnicos

Num veículo híbrido ter-se-ão as emissões por parte do motor de combustão interna, que em todo o caso são inferiores às emissões de um veículo convencional, já que há o aproveitamento de energia eléctrica, nas desacelerações, através de um gerador que carrega as baterias e também pois quando é necessária potência, o motor eléctrico ajudar o motor de combustão interna a desempenhar a sua função. De notar que este motor de combustão interna é sempre um motor de menor dimensão que o motor utilizado nos veículos convencionais, pois possui menor potência, logo, as emissões serão em princípio menores do que as dos veículos convencionais, identificando-se isto como sendo o principal contributo para a diminuição do impacte ambiental, nomeadamente devido à redução de libertação de gases de combustão [18] [19] [21]. Mas, por outro lado, terá também produção de emissões de CO₂, provenientes do funcionamento do motor eléctrico auxiliado pela bateria.

Todavia, beneficiando de ambas as fontes de energia (eléctrica e a gasolina) obtém-se como principais vantagens;

- Baixo consumo de combustível, devido à redução das perdas de energia, paragem do motor de combustão interna sempre que o veículo esteja imobilizado e através do aproveitamento da energia perdida durante a travagem associada ao processo de travagem regenerativa.
- Baixas emissões, fruto da redução do consumo de combustível.
- Elevados desempenhos, através de um elevado binário disponível atendendo ao binário do motor eléctrico.

Como principais desvantagens; maior peso, pois possui dois motores e baterias, maior complexidade e por isso alguma possibilidade de falhas no sistema, durabilidade da

bateria e preço muito elevado quando comparado a um veículo convencional (gasolina/gasóleo).

Face às características referidas, propõe-se com este estudo relacionar algumas destas afirmações com os resultados que se irão obter pelas monitorizações experimentais, sobretudo em termos de consumos de gasolina, fluxo de electricidade na bateria, processo de travagem regenerativa e emissões de CO₂ produzidas pelo motor de combustão interna e pelo motor eléctrico.

2.3 Incentivos

Com o objectivo de reduzir os impactes ambientais, foram introduzidas algumas medidas sobre os impostos dos veículos de forma a incentivar a compra de veículos menos poluentes (exemplo: veículos híbridos).

Em Portugal a partir de 1 de Janeiro de 2008 (Lei n.º 22-A/2007, de 29 de Junho), os impostos sobre os automóveis voltaram a sofrer grandes alterações, com as emissões de CO₂ a ter um peso de 60% nas contas do imposto sobre veículos (ISV), remetendo a cilindrada para 40%, o que, na generalidade dos automóveis vendidos em Portugal, acaba por resultar numa poupança face ao preço praticado hoje.

Este factor passará a ser crucial no acto da compra de um automóvel novo, podendo representar uma diferença de largas centenas de euros. Com base no novo orçamento de estado, já aprovado na Assembleia da República, o peso da componente ambiental passará de 30% para 60%, remetendo a cilindrada para uma fracção de 40% na equação do ISV [32]. Quer isto dizer que veículos que tenham a mesma cilindrada, mas diferentes níveis de emissão de gases poluentes, terão seguramente valores bem diferentes a pagar de imposto, com prejuízo óbvio para os menos "ecológicos".

O novo cálculo penaliza, desde logo, os modelos com as mais elevadas emissões de CO₂ e, sobretudo, os motores Diesel com patamares superiores de gases poluentes.

Outro incentivo a ter em consideração na proposta do Orçamento de Estado será a manutenção do desconto de 50% nos veículos híbridos, a GPL ou a gás natural, benéfico para marcas como a Honda, a Toyota e a Lexus, que vêm baixar a incidência fiscal nos seus modelos "ecológicos" em vários milhares de euros, por via do maior peso da componente ambiental em veículos que já têm como um dos principais atributos as reduzidas emissões poluentes.

Com isto tenta-se reduzir o impacto ambiental gerado principalmente pelo sector dos transportes incentivando a compra de veículos híbridos [32].

2.4 Toyota Prius

O veículo utilizado para a realização deste trabalho é o Toyota Prius, cujo funcionamento em estrada pode ser analisado na Figura 9. É um veículo híbrido que associa um motor convencional de combustão interna a um motor eléctrico e, no caso do Prius, um gerador.

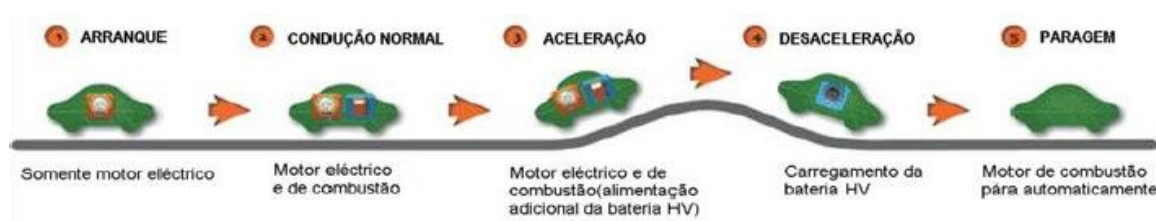


Figura 9: Esquema de funcionamento misto dos motores [35]

Os veículos híbridos utilizam vários modos de funcionamento dos seus motores contando com isso com diversas tecnologias, com objectivo de maximizar o desempenho de cada um.

O Toyota Prius analisado neste trabalho possui um sistema híbrido THS II que associa as vantagens dos sistemas híbridos em “série” e “paralelo” (sistema híbrido misto). Daí que uma das características originais do sistema (Hybrid Synergie Drive[®]) seja a capacidade de seleccionar o melhor modo de funcionamento para cada situação, desde a utilização puramente eléctrica, motor de combustão ou todo o sistema propulsor em conjunto (motor de combustão mais motor eléctrico), isto permite que o motor alcance ganhos de eficiência, nomeadamente em redução de consumo de combustível e de emissões.

A selecção do melhor modo de funcionamento do Prius, ocorre devido à utilização de uma transmissão eléctrica continuamente variável (CTV) em detrimento de uma transmissão convencional, pois a transmissão é automática com sistema de polia variável e controlada electronicamente [12] [19].

O sistema do Toyota Prius possui um Controlo de Válvulas Variável Inteligente (VVT-i) que reduz, em média, as emissões de CO₂ em mais de 50% quando comparado com motores convencionais, tudo isto, devido à regulação do tempo de cruzamento entre o fecho das válvulas de escape e a abertura das válvulas de admissão, as características do motor podem ser alteradas para proporcionar um binário imediato do motor ao longo de toda a gama de regimes, permitindo uma forte aceleração e uma óptima economia de combustível. Para além de, uma combustão mais completa de combustível que equivale a menores emissões [25].

A forma como o sistema funciona, pode ser visualizado num mostrador que o veículo possui (mostrador “multi-informações”) que, para além de indicar o sentido da transmissão de energia, mostra o estado de carga da bateria híbrida, a temperatura exterior, o consumo instantâneo de combustível, entre muitas outras informações.

2.4.1 Modo de funcionamento

Para explicar o modo de funcionamento deste veículo, vou citar constantemente as nomenclaturas MG1 e MG2 que podem ser visualizadas na Figura 10. A descrição deste veículo serve de uma forma geral, para explicar o modo de funcionamento da propulsão híbrida.

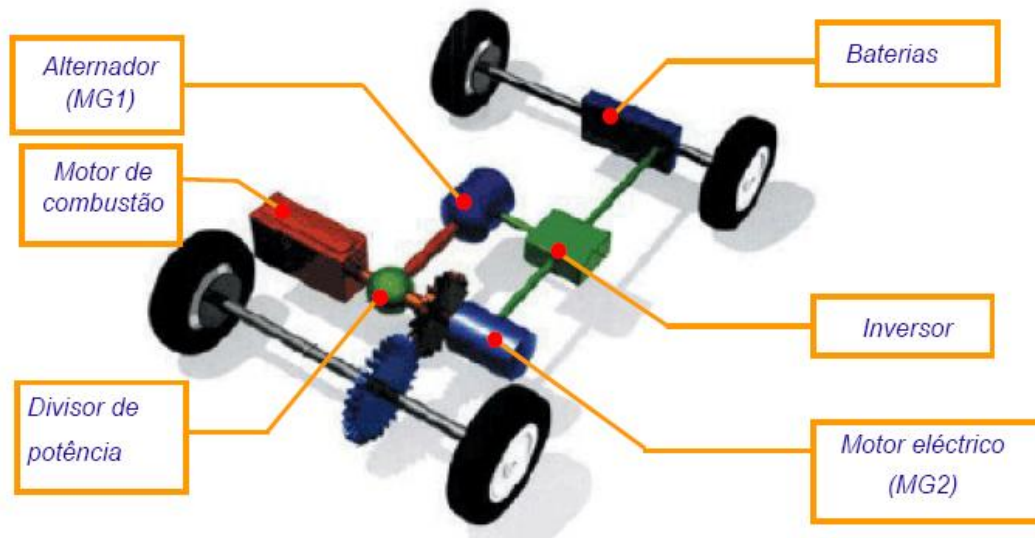


Figura 10: Componentes do Toyota Hybrid System [34]

Inicialmente com o veículo **parado**, o motor MG1 pode trabalhar como motor de arranque ou como gerador. Quando MG1 funcionar como motor de arranque, existe um fluxo de corrente para MG2 de forma a prevenir que este se mova. Quando o motor MG1 funcionar como gerador, o motor de combustão roda MG1 para que este carregue a bateria [35].

Durante o **arranque** apenas o motor eléctrico MG2 é utilizado, sendo alimentado directamente pela bateria, esta energia disponibilizada pelas baterias passa por um conjunto inversor de forma a transformar a corrente eléctrica de DC (tensão contínua) para AC (tensão alternada) bem como, para regular a tensão a fornecer ao motor eléctrico. O motor eléctrico funciona em AC e é autónomo para velocidades reduzidas. Nesta fase podem ocorrer duas situações que envolvem MG1: sem arranque do motor MG1 ou com arranque deste. A situação sem arranque do motor só ocorre quando a carga aplicada é baixa, pelo que só o motor MG2 é utilizado [35]. A Figura 11 ilustra a distribuição de energia no arranque.

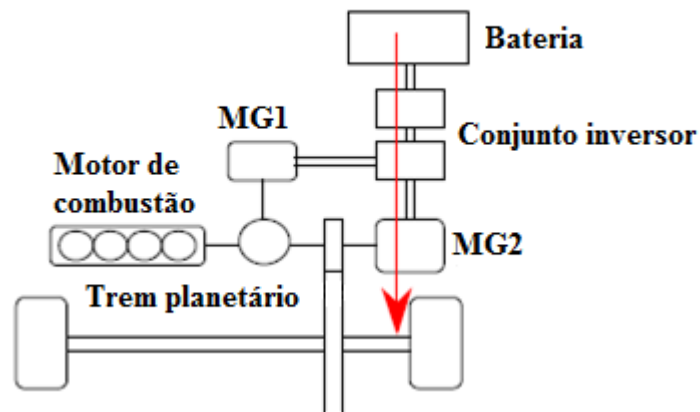


Figura 11: Distribuição de energia durante o arranque [40]

Na Figura 12, pode-se analisar o desempenho dos três componentes principais do sistema híbrido. O eixo das ordenadas refere-se às rotações dos motores (rpm) e o das coordenadas, aos componentes do veículo. Verifica-se neste caso que só o motor eléctrico MG2 garante a locomoção do veículo, estando o motor de combustão parado. Estes desenvolvimentos têm em conta o binário e a força de atrito para cada situação.

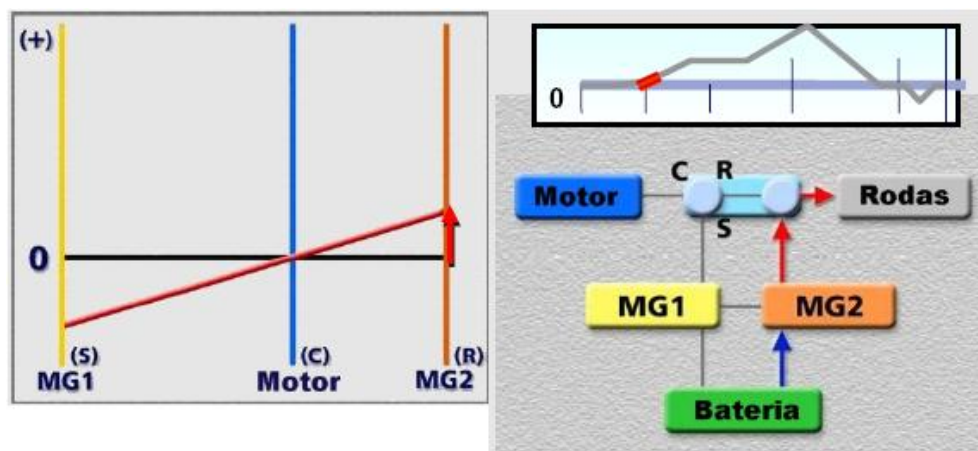


Figura 12: Funcionamento sem arranque do motor [35]

Na situação da Figura 13, o arranque é realizado com o arranque do motor, verificando-se rotações positivas no motor MG1, bem como no motor de combustão interna, auxiliando ambos para a locomoção do veículo.

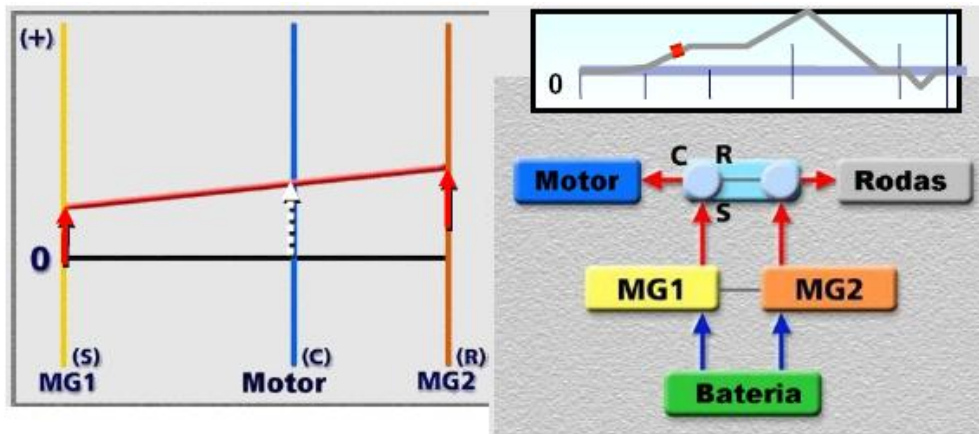


Figura 13: Funcionamento com arranque do motor [35]

Como mostra a Figura 14, na fase de **condução normal**, o motor de combustão e o motor eléctrico MG2 transmitem conjuntamente potência às rodas. O motor de combustão pode ser utilizado também para recarregar as baterias. A potência gerada pelo motor de combustão é distribuída de duas formas através de um trem planetário que este sistema possui. Uma parte da potência gerada pelo motor de combustão interna é fornecida directamente às rodas (potência motriz), sendo a restante potência dirigida para o gerador MG1 (converte para potência eléctrica), que por sua vez alimenta o motor eléctrico MG2 transmitindo força adicional às rodas. Esta distribuição de potência realizada pelo trem planetário permite que se consiga uma eficiência máxima. O motor de combustão vai aumentando as rotações por minuto (rpm), sendo a energia gerada por MG1 fornecida a MG2 [33].

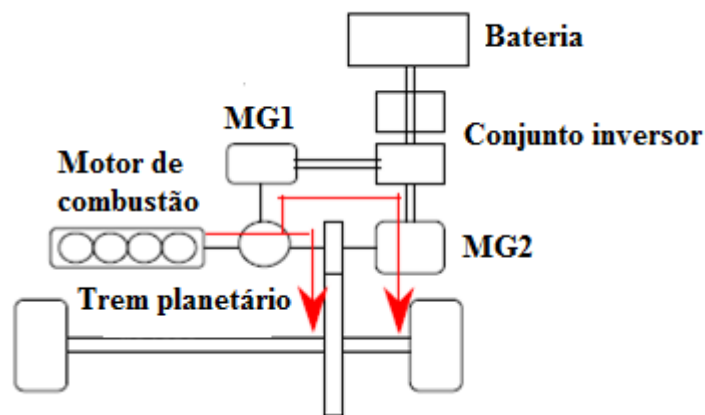


Figura 14: Distribuição de energia durante a condução normal [40]

Verifica-se na Figura 15 que o sentido da seta de MG1 é contrário, ao do motor de combustão e do MG2, pois o motor MG1 está a contribuir com energia para alimentar o motor MG2.

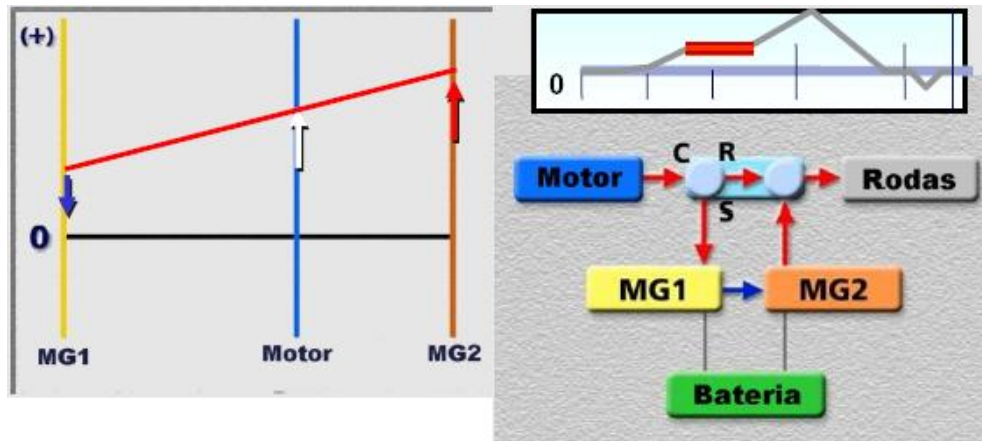


Figura 15: Funcionamento em condução normal [35]

Em **aceleração**, as baterias disponibilizam toda a sua energia eléctrica ao motor eléctrico MG2 para o mover com mais força de forma a auxiliar a necessidade de uma maior potência.

O motor de combustão entrega toda a sua potência de forma suave. Nesta fase, MG2 é alimentado por MG1 e também pela bateria HV dependendo isso do estado de carga (SOC) desta e do grau de aceleração. Quando o condutor necessitar do máximo de potência, três fontes de energia combinam-se para a fornecer como mostra a Figura 16 [35].

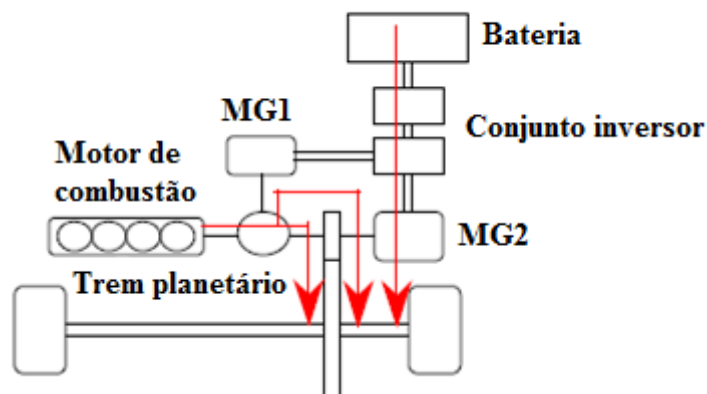


Figura 16: Distribuição de energia durante a aceleração [40]

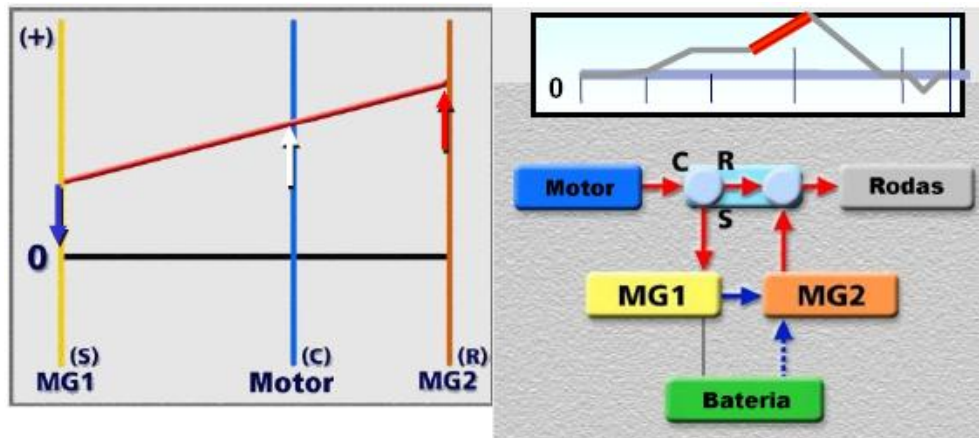


Figura 17: Funcionamento em aceleração [35]

A Figura 18 representa uma situação de desaceleração. Em **desaceleração**, ou em travagem (os travões estão equipados com um sistema regenerador), o motor MG2 funciona como gerador, sendo posteriormente transformada a energia cinética das rodas em energia eléctrica que é armazenada nas baterias. Se o nível destas ficar muito baixo (apesar de nunca descer abaixo de um valor pré-estabelecido), é o motor a gasolina que se encarrega de transmitir mais potência ao gerador do que às rodas. Logo, MG2 funciona impulsionado pelas rodas como gerador, recuperando energia para recarregar a bateria HV.

A electricidade gerada por MG2 alimenta MG1, e este roda o motor de combustão, que trabalha em “cut off” – corte de injeção. A força motriz de MG1 é utilizada como travão motor [24].

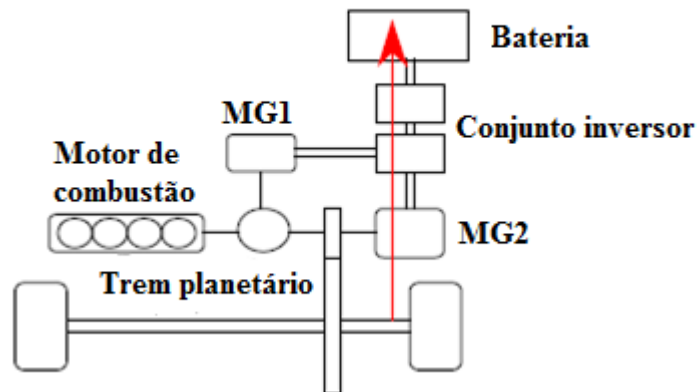


Figura 18: Motor eléctrico como gerador na desaceleração [40]

Na Figura 19 verifica-se a mudança de direcção da seta do motor MG2 devido a este receber energia cinética para carregar a bateria.

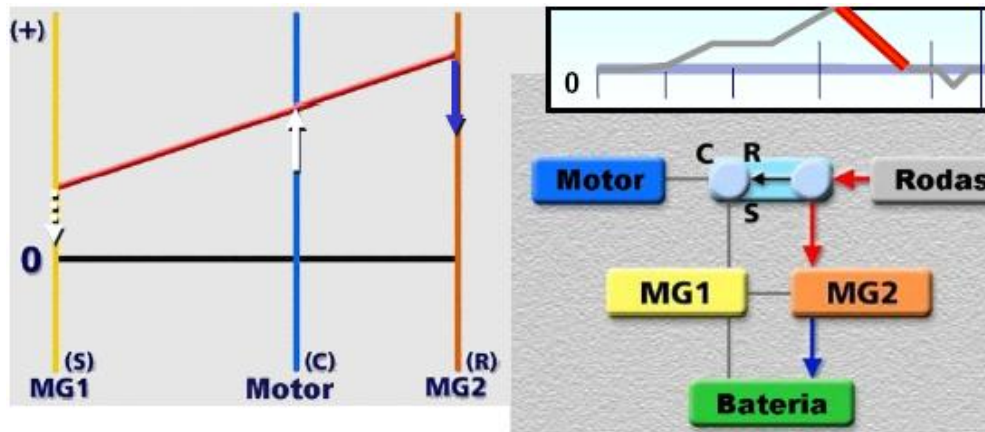


Figura 19: Funcionamento em desaceleração [35]

Em **marcha atrás**, somente é utilizado MG2, o motor de combustão pode arrancar nos seguintes casos:

- A bateria necessitar de ser recarregada.
- O motor arrefecer.
- A temperatura da bateria está muito alta ou baixa.

O motor MG2 inverte o seu sentido na Figura 20, passando a uma rotação negativa fruto da deslocação do veículo para trás, ao mesmo tempo que o motor de combustão permanece desligado permitindo um consumo de gasolina nulo.

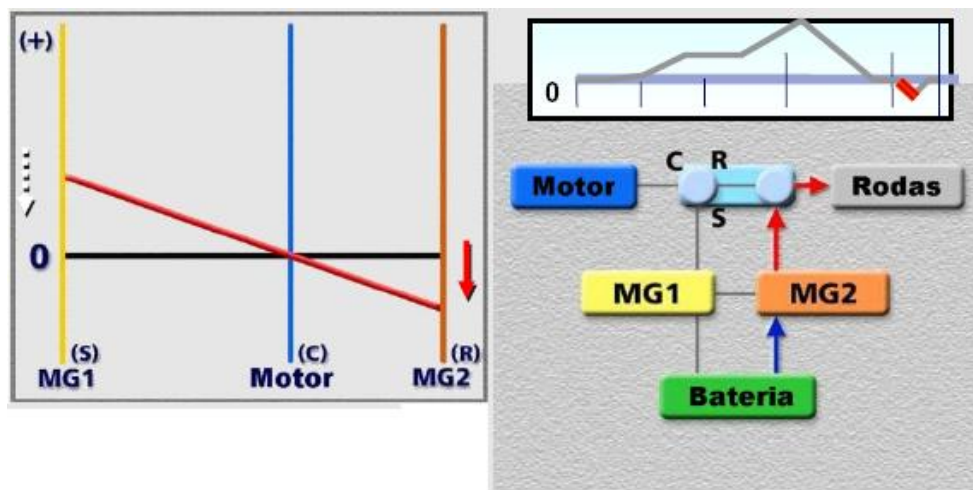


Figura 20: Funcionamento em marcha – atrás [35]

Em ambos os diagramas de desempenho dos componentes principais, verifica-se que o resultado terá de ser uma recta com uma determinada inclinação de acordo com o

tipo de condução, isto permite manter sempre o equilíbrio do sistema híbrido do automóvel. Variando apenas o sentido de rotação dos motores.

Na Figura 21 a fase de **recarregamento da bateria** é controlada para manter um determinado nível de carga, pelo que quando o nível atinge valores reduzidos, MG1 é accionado pelo motor de combustão de forma a recarregar a bateria [35].

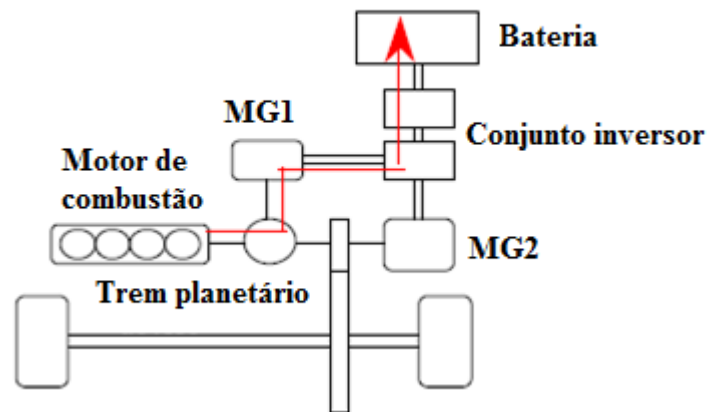


Figura 21: Recarregamento da bateria [40]

Por fim na **paragem**, o motor de combustão interna é automaticamente desligado para reduzir o consumo de combustível, maximizando a eficiência.

Uma característica interessante neste veículo, é a possibilidade de utilização de um modo 100% eléctrico, bastando para isso que se prima um determinado botão, como mostra a Figura 22. Isto possibilita ao condutor, se o nível das baterias o permitir, circular a baixas velocidades (inferiores a 45 km/h) durante sensivelmente 1 quilómetro apenas com o motor eléctrico [6].



Figura 22: Modo 100% eléctrico [6]

Para ter uma ideia dos benefícios ambientais que esta solução híbrida oferece, basta referir que as emissões de HC e de NO_x são inferiores em 80 e 87,5 por cento em relação ao estipulado pelas normas Euro IV para motores a gasolina. No caso do Prius as emissões do NO_x são 93 % inferiores ao que a mesma norma estipula para os motores turbo diesel. O mesmo se passa com as emissões de CO e CO₂ graças ao seu consumo bastante reduzido. Foi por estas razões que o motor do Toyota foi considerado o Motor Internacional do Ano [6].

2.5 Componentes e características técnicas do veículo híbrido - Toyota Prius

Irei descrever algumas das características principais do sistema híbrido do Toyota Prius, que servirá de base, para citar as diferenças deste meio alternativo de propulsão quando comparado com os veículos convencionais.

Este veículo possui alguns componentes e sistemas que serão descritos de forma breve ao longo deste capítulo, quanto às suas funcionalidades e características. A disposição de alguns componentes pode ser analisada na Figura 23.

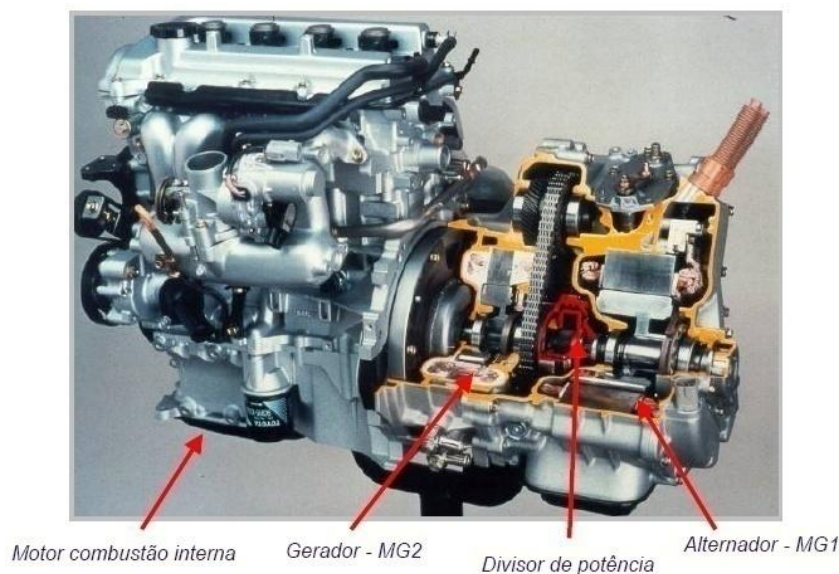


Figura 23: Disposição dos componentes principais da caixa do Toyota Prius [35]

2.5.1 Características do sistema híbrido THS II

- **Sistema ECU**

Trata-se do principal sistema desta tecnologia híbrida. Como mostra a Figura 24 o sistema resumidamente controla o MG1, MG2, o motor de combustão, o controlo de travagem regenerativa e o estado de carga da bateria.

Este sistema está em sintonia com sensores que detectam as posições do pedal de aceleração, posição de funcionamento do veículo em estrada, condições de funcionamento do conjunto inversor, velocidades e posições de MG1 e MG2, bem como as temperaturas dos motores para que essas informações sejam transmitidas ao sistema de controlo de unidade electrónica (ECU).

Portanto, a monitorização dos componentes do veículo é feita através da relação deste sistema com vários sensores e/ou sistemas auxiliares de forma a receber todas as informações sobre estado de funcionamento dos componentes do veículo, e intervir, caso seja necessário de forma a otimizar o controlo destes.

Essas informações são transmitidas por parte dos sensores sobre a forma de sinais eléctricos, actuando o sistema ECU caso necessário sobre MG1, MG2 e no motor de combustão interna para criar as condições de circulação do veículo [33].

Quando é detectada qualquer anomalia no funcionamento do veículo, o sistema ECU detecta-a, faz o seu diagnóstico e memoriza o valor dessas falhas. Actua também na bateria para garantir que a voltagem, a corrente e a temperatura estejam sempre em níveis óptimos. Caso seja necessário realizar algum ajuste este sistema acciona o meio de resposta apropriado, tal como as ventoinhas de refrigeração.

No caso particular de as rodas rodarem sem tracção, o sistema ECU executa o controlo de tracção, restringindo a rotação de MG2 e prevenindo MG1 de gerar electricidade em excesso.

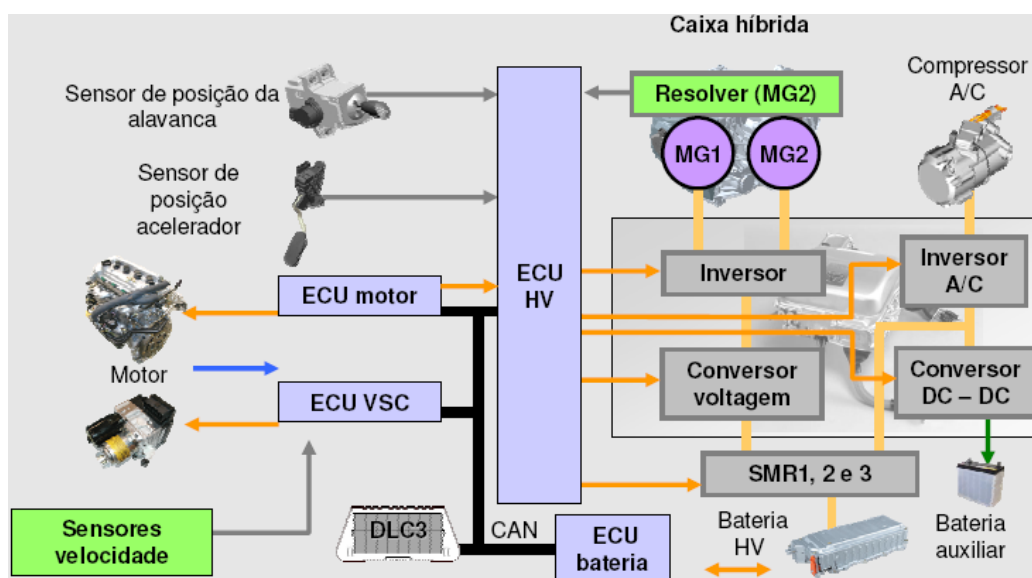


Figura 24: Circuito de alta voltagem e sistema ECU HV [35]

- **Regeneração de energia**

Os veículos de propulsão híbrida caracterizam-se pela utilização de sistemas de travagem regenerativa. Isto ocorre quando o veículo está na fase de desaceleração ou em travagem. As rodas passam a fornecer energia cinética ao motor eléctrico MG2, que funciona como um gerador convertendo a energia cinética em energia eléctrica para fornecer-las às baterias, proporcionando uma diminuição substancial no consumo de combustível.

O processo de travagem regenerativa é feito através do sistema de travagem de controlo electrónico (ECB). O sistema ECB recorre a sensores electrónicos, activados pelo pedal de travão, para gerar um controlo preciso e eficaz da hidráulica de travagem. Paralelamente, optimiza o sentido do pedal de travão de modo que o condutor detecte uma resposta rápida e positiva do sistema. O sistema ECB revela-se mais eficaz que os sistemas hidráulicos clássicos em situações que exigem uma distribuição contínua da força de travagem sobre as quatro rodas, um procedimento normal quando o sistema de controlo de estabilidade é activado. Evita igualmente o fenómeno de vibrações dos travões associado aos sistemas antibloqueio e controlo de estabilidade usuais, graças à presença de válvulas lineares de regulação de pressão associadas a cada uma das rodas.

Durante este processo a força de travagem é constituída pela adição da força de travagem tradicional gerada pelo circuito hidráulico e pela força de travagem de regeneração como mostra a Figura 25. Esta regulação extremamente precisa, minimiza a perda de energia cinética no sistema hidráulico e em contrapartida maximiza a energia criada pela travagem regenerativa, o que permite aumentar a recuperação de energia e diminuir o consumo de combustível.

O sistema de travagem por controlo electrónico é mais célere que os convencionais, porque o sistema gera pressões hidráulicas superiores às obtidas num circuito tradicional, o que lhe confere capacidades superiores em velocidade assim como, intensidade para discos mais pequenos. Paralelamente, o sistema hidráulico é completado pelo sistema à recuperação (regeneração) o que oferece uma potência de travagem suplementar [3].

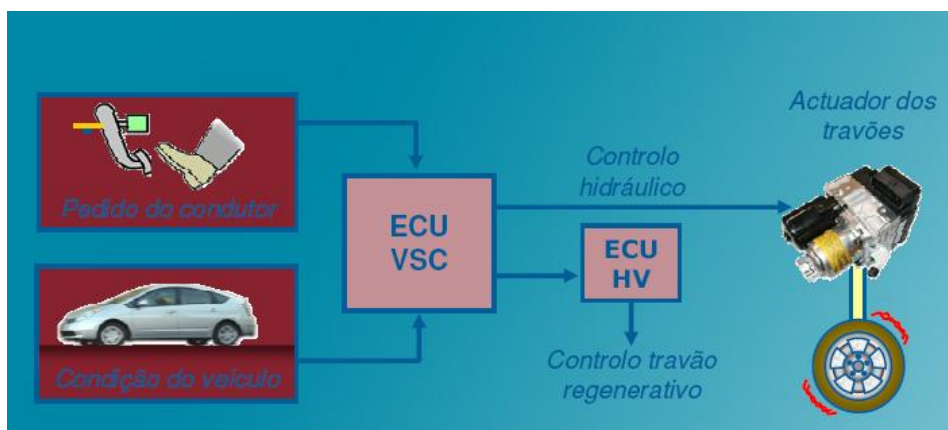


Figura 25: Composição principal do sistema de travagem de controlo electrónico [41]

- **Paragem do motor / funcionamento eléctrico**

Trata-se de uma tecnologia de redução do desperdício de energia através de um sistema de paragem automática, que permite ao motor de combustão interna desligar-se em situações de veículo imobilizado ao ralenti ou em situações típicas de pára - arranca, permitindo que se obtenha um consumo de gasolina nulo nessas situações. Esta estratégia é muito aconselhada em zonas urbanas, onde o trânsito é mais propício a este sistema. O motor de combustão interna desliga-se, ligando-se automaticamente quando for necessário debitar maior potência. O motor de combustão está desligado até uma determinada velocidade, que dependerá dos componentes do sistema (exemplo: estado de carga da bateria), da própria configuração do veículo e também da potência solicitada pelo condutor.

A economia de energia é tanto mais significativa quando efectua percursos citadinos, logo consegue-se com este processo uma redução significativa de emissões de gases de escape e ruído, que são particularmente consideráveis em trânsito urbano [3].

- **Assistência ao motor**

A tecnologia de assistência à tracção, permite ao motor eléctrico fornecer potência adicional ao motor de combustão interna no caso de uma maior necessidade de potência (como por exemplo, numa ultrapassagem ou declive acentuado). Este reforço permite que se favoreça o funcionamento do veículo, pois o motor de combustão interna tem um fraco binário tipicamente a velocidades baixas, sendo benéfico o auxílio do motor eléctrico nestas situações.

- **Controlo de eficiência**

Quando a eficiência do motor de combustão é baixa, o sistema utiliza o motor eléctrico para mover o veículo. Quando é alta, o motor eléctrico é usado para carregar as baterias, isto permite obter uma eficiência ideal para o veículo.

- **Sistema de refrigeração**

Para o bom funcionamento do sistema híbrido do Toyota Prius é necessário que se consiga manter uma temperatura a um determinado nível em todos os seus componentes. Esta temperatura é conseguida através de dois sistemas de refrigeração, um sistema associado ao motor de combustão (sistema de refrigeração do motor) e um outro sistema de refrigeração híbrido. O sistema de refrigeração do motor é semelhante ao sistema de refrigeração de um automóvel convencional. O objectivo deste sistema é permitir a circulação de um líquido refrigerante pelo motor de forma a retirar o excesso de energia

térmica gerada pela combustão. Uma bomba irá forçar o líquido refrigerante a fluir do motor para o radiador onde o calor desperdiçado é descarregado. O refrigerante é auxiliado por uma válvula de pressão de forma a garantir uma pressão acima da pressão atmosférica permitindo ao refrigerante permanecer no estado líquido a uma temperatura acima do ponto de ebulição da água [2] [19].

Para ajustar possíveis mudanças no volume do refrigerante devido a flutuações da temperatura e de pressão, o sistema inclui um tanque que funciona como reservatório em condições de excesso de volume.

O sistema de refrigeração do motor também inclui um componente de armazenamento de líquido refrigerante quando este se encontra quente, de forma a utilizá-lo novamente no funcionamento do motor. Ao utilizar o refrigerante quente consegue-se desta forma reduzir as emissões dos gases de escape produzidas durante o funcionamento do motor a frio, no caso de este começar a trabalhar novamente.

Ambos os sistemas de refrigeração estão separados, porque operam a temperaturas diferentes.

Tal como sistema de refrigeração do motor, o sistema híbrido de refrigeração também inclui um tanque para armazenar os possíveis excessos. O sistema de refrigeração retira calor dos componentes (gerador, motor eléctrico e inversor) e este calor é transferido à atmosfera pelo radiador [2]. A constituição do sistema de refrigeração pode ser visualizada na Figura 26.

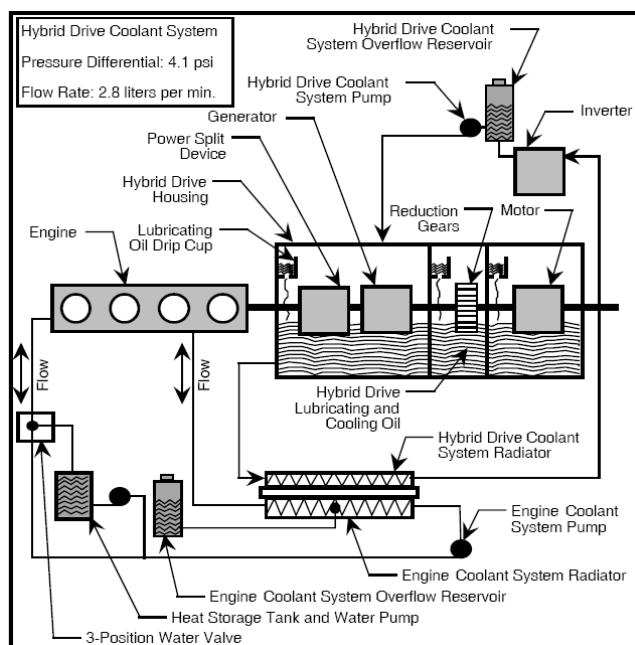


Figura 26: Sistema de refrigeração do Toyota Prius [2].

2.5.2 Componentes

- **Motor de combustão**

O projecto do motor de 1.5 litros no Prius, é baseado no ciclo de Atkinson em que a duração do curso da compressão e do curso da expansão pode ser ajustada independentemente. No ciclo de Atkinson, a relação de expansão difere da relação de compressão o que origina a possibilidade de alcançar uma maior eficiência comparativamente a um motor de ciclo Otto. Este ciclo permite uma importante redução de combustível, mas tem como desvantagem uma menor potência, que é desvalorizada na utilização em veículos híbridos, pois o motor eléctrico auxilia a locomoção do veículo. Possui também como característica, baixas perdas por bombagem [6] [26] [35] [41]. Na Figura 27 pode-se visualizar o ciclo teórico de Atkinson.

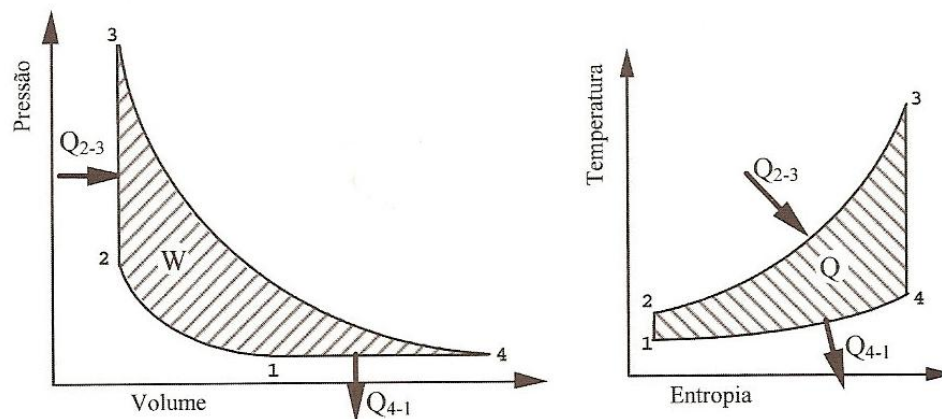


Figura 27: Ciclo teórico de Atkinson [26].

Na Tabela 1 referenciam-se as principais características do motor de combustão interna.

Tabela 1: Características do motor de combustão interna [6] [33] [35]

Motor de Combustão	Características
Número de cilindros	4 Em linha
Mecanismo de válvulas	16 Válvulas, DOHC, VVT - i
Sistema de injeção	EFI/Injeção Electrónica de Combustível L-Jetronic
Cilindrada [cc]	1497
Diâmetro x Curso [mm x mm]	75.0 x 84.7
Binário máximo [N.m/rpm]	115 @ 4000
Potência máxima [Cv/rpm]	77 @ 5000
Taxa de compressão	13.0:1

- **Bateria**

É uma bateria recarregável de alto desempenho selada de NiMH (Tabela 2). A bateria é composta por 28 módulos de baixa voltagem (7,2 V cada) ligadas em série capazes de produzir um total de 201,6 V nominais. Fornece electricidade ao motor MG2 durante o início do funcionamento do veículo, durante as acelerações e em zonas de elevado declive. É alimentado energeticamente durante a fase de travagem e desacelerações [22] [38].

Tabela 2: Características da bateria [6] [33] [35]

Bateria	Características
Bateria híbrida - Tipo	Hidreto metálico de níquel
Nº de módulos	28
Bateria - Voltagem (nominal) [V]	201.6
Bateria - Capacidade [Ah/horas]	6.5/3
Potência [kWh]	1,3
Peso bateria [kg]	39

- **Motor eléctrico (MG2) e Gerador (MG1)**

O gerador deste sistema híbrido é constituído por 8 pólos e funciona em corrente alterna (AC) rodando a velocidades elevadas. Devido ao facto de rodar a velocidades altas, tem a capacidade de fornecer electricidade de alta voltagem (máximo 500 V AC) para armazenar na bateria e auxiliar o motor eléctrico MG2. Este componente funciona também como motor de arranque.

O motor eléctrico MG2 é do tipo síncrono com rotor de íman permanente e é alimentado pela potência eléctrica do gerador MG1 ou pela bateria HV de forma a movimentar o veículo. Durante a travagem, ou em fases de desaceleração gera electricidade para recarregar a bateria HV (controlo de travagem regenerativa) [35]. As características do motor eléctrico e do gerador podem ser analisadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características do MG1 e MG2 [6] [33] [35]

	MG1	MG2
Tipo	Síncrono com rotor de íman permanente	Síncrono com rotor de íman permanente
Funções	Gerador Arranque do MCI	Gerador (travagem regenerativa) Accionamento das rodas
Tensão máxima [V]	500 (AC)	500 (AC)
Potência máxima [cv/rpm]	51 @9500	68 @1200 – 1540
Binário máximo [Nm/rpm]	45 @0 - 6000	400 @0 – 1200
Arrefecimento	Refrigeração líquida	Refrigeração líquida

- **Trem planetário**

Trata-se de um componente que divide a potência gerada pelo motor de combustão interna. Uma parte desta potência é fornecida directamente às rodas (potência motriz), a restante serve para alimentar o gerador que irá convertê-la em energia eléctrica para alimentar o motor eléctrico ou a bateria.

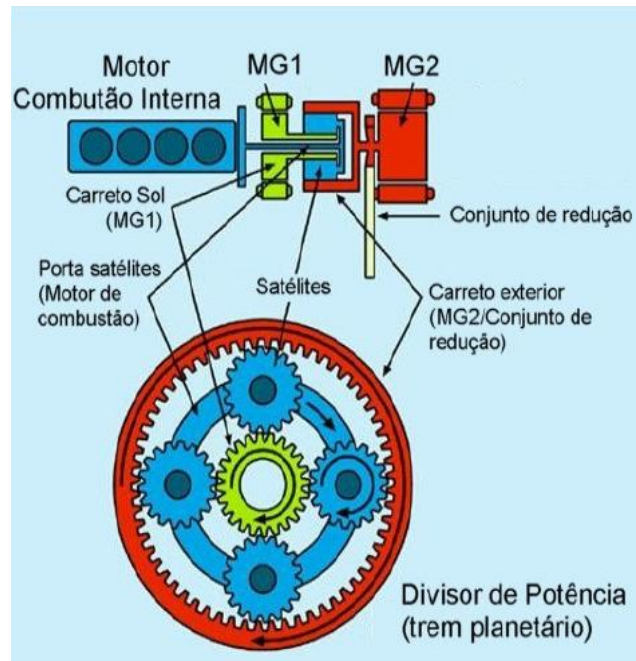


Figura 28: Trem planetário [20]

O dispositivo de divisão de força é o conjunto de engrenagem planetária da Figura 28. O motor eléctrico MG2 é conectado ao carreto exterior do conjunto de engrenagens e também directamente ao diferencial, que impulsiona as rodas. Portanto, qualquer que seja a velocidade de rotação do motor eléctrico e da coroa, é o diferencial que determina a velocidade do veículo.

O gerador é conectado à engrenagem solar do conjunto de engrenagens (carreto solar) e o motor de combustão interna ao suporte planetário. A velocidade da coroa depende dos três componentes, pelo que precisam funcionar sempre juntos, para efectuar o controlo da velocidade de saída.

Durante a aceleração, inicialmente o motor eléctrico e as baterias fornecem toda a potência. A coroa do dispositivo de divisão de energia é conectada ao motor eléctrico MG2, de modo a que esta comece a girar com o motor. O suporte planetário, que é conectado ao motor de combustão interna, encontra-se estacionário porque este não está a funcionar. Quando a coroa estiver a girar, as engrenagens planetárias precisam de se movimentar, o que faz com que a engrenagem solar e o gerador girem. À medida que o carro acelera, o gerador funciona na velocidade necessária para que o motor permaneça desligado.

Quando o veículo atinge uma determinada velocidade, o motor de combustão interna será ligado, então, o gerador muda de rotação, fazendo com que o suporte planetário gire e lhe dê partida. Após esse momento, o motor de combustão interna ficará numa rotação constante, enquanto o gerador variará a sua rotação para combinar a da sua saída com a do motor eléctrico MG2 [20] [35].

- **Conjunto inversor**

O conjunto inversor é constituído por um conversor de alta voltagem (“booster”), um conversor de baixa voltagem e por três inversores (inversor para MG1, para MG2 e para o ar condicionado) como pode-se analisar na Figura 29.

O conjunto inversor transforma a tensão disponibilizada pela bateria (201,6 V DC) de três formas. Numa primeira etapa a tensão de 201,6 V DC disponibilizada pela bateria, passa através de um conversor de voltagem para 500V DC [35] [41]. Após esta conversão de tensão, existirá dois inversores, um para MG1 e outro para MG2 com a finalidade de alterar a referida tensão de DC para AC de forma a alimentar os motores.

Na segunda etapa, através de um outro inversor transforma a tensão disponibilizada pela bateria de DC para AC com o intuito de alimentar o compressor do ar condicionado.

Por fim, a terceira etapa consiste em converter a tensão da bateria de 201,6 V DC para 12V DC para alimentar outros componentes e recarregar a bateria de 12 V do veículo.

Em suma, este conjunto pode converter a corrente de DC para AC e vice – versa [35].

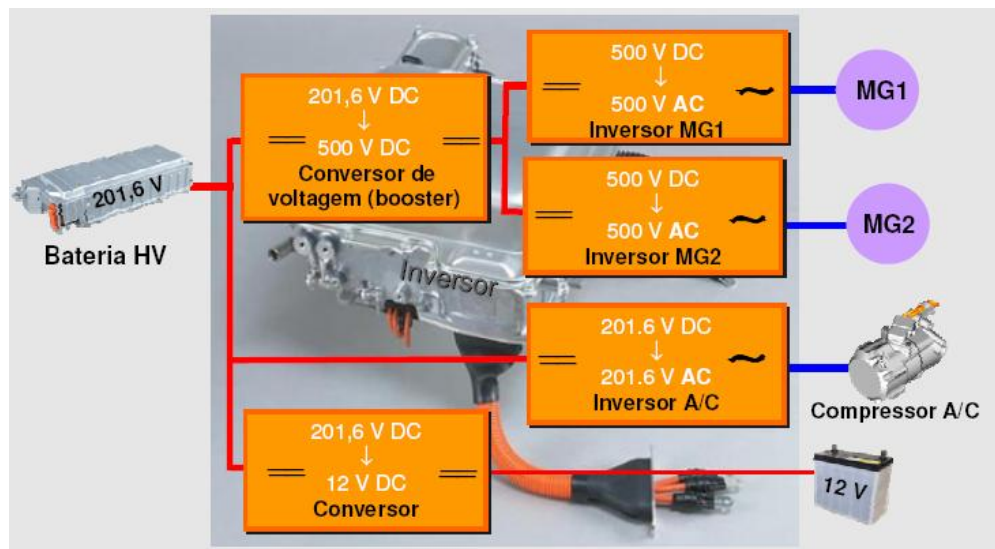


Figura 29: Conjunto inversor [35]

O circuito de alta tensão no sistema THS II, que inclui o motor eléctrico e o gerador, é projectado para operar sobre uma escala variável da tensão de 200 a 500V DC.

Esta característica de projecto de elevada tensão, resulta em um aumento na eficiência porque a potência eléctrica pode ser fornecida ao motor utilizando uma corrente menor. Além disso, a tensão elevada permite que o motor opere a velocidades superiores.

2.5.3 Desempenhos

Na Tabela 4, estão representadas as características dos valores do desempenho do Toyota Prius.

Tabela 4: Valores do desempenho ambiental do Toyota Prius [6]

Desempenho ambiental	Características
Tipo de combustível	Gasolina
Combinado [l/100km]	4.3
Extra – Urbano [l/100km]	4.2
Urbano [l/100km]	5.0
Emissões de Dióxido de Carbono, CO₂ [g/km]	104

Posteriormente será realizada a comparação entre estes valores e os resultados obtidos nesta Dissertação.

2.6 Revisão Bibliográfica

Pelo facto de os veículos híbridos emitirem menos poluentes e consumirem menos combustível, foram realizados muitos estudos com o intuito de analisar esta nova tecnologia. Grande parte desses estudos foram efectuados nos EUA, onde tem-se verificado um crescente número de veículos híbridos nas estradas.

No estudo realizado por Edward K. Nam e por Arvon Mitcham [31], foram feitos ensaios entre dois veículos híbridos, um Toyota Prius e um Honda Insight. Os ensaios foram realizados em um banco de rolos (dinamómetro) e através de um sistema portátil de medições de emissões (PEMS) SEMTECH-G. Os objectivos deste estudo eram: avaliar a capacidade do sistema de medições de emissões portátil (“Portable Emissions Measurement System” - PEMS), verificar se as emissões dos veículos estavam dentro de uma escala de valores aceitáveis, comparar os resultados obtidos por PEMS com os valores obtidos por banco de rolos (dinamómetro) e fazer uma comparação modal segundo a segundo dos resultados do PEMS com os obtidos pelo dinamómetro. As emissões analisadas eram o CO₂, CO, NO_x e HC embora este último poluente possuía valores muito reduzidos para o medidor portátil de emissões. Estas medições foram limitadas devido ao reduzido fluxo de volume de gases de escape em ambos os veículos. De referir, que os

resultados entre os dois veículos não foram comparados, por possuírem discrepâncias em termos de quilometragem, tamanho do motor, e estratégias/sistemas híbridos diferentes. Foram analisados individualmente de forma a fazer uma comparação com valores padrão predefinidos. As principais conclusões a retirar deste estudo foram que, esta nova tecnologia híbrida permite que os veículos emitam muito menos poluentes e que os seus valores estavam dentro das quantidades predefinidas/padrão, todavia observou-se a presença de um fluxo superior de emissão de gases de escape durante o funcionamento a frio, isto deve-se às condições de funcionamento do catalisador que é mais eficaz a temperaturas elevadas.

Outro estudo desenvolvido nesta área por Lester B. Lave e Heather L. Maclean [21] abordava a forma como os veículos híbridos poderiam ser mais favoráveis ao ambiente e também a sua avaliação económica. Neste estudo, foi feita a comparação entre o Toyota Prius e o motor de combustão interna equipado no Toyota Corolla. Foram analisados principalmente as quantidades de CO, NOx, CO₂ e consumo de combustível, de acordo com diversos factores, entre eles, o preço de combustível e diferentes percentagens de utilização dos veículos em diversos tipos de estrada (Urbano, Rural e Auto Estrada). As conclusões obtidas foram semelhantes ao estudo referido anteriormente, ou seja, o veículo híbrido é energeticamente mais económico que os veículos convencionais equipados com motor de combustão interna.

Todos estes estudos obtidos por diversos ensaios, demonstram que realmente os veículos híbridos são a melhor solução como meio alternativo de propulsão para começar a reduzir os problemas energéticos que existem actualmente.

Todavia foram realizados também alguns estudos mais concretos sobre o Toyota Prius, do qual destaco o de Danil V. Prokhorov [34], que descreve o modo de funcionamento deste automóvel, e propõe um novo método através de um sensor neural que possibilita uma maior eficiência de combustível. Esta proposta também poderia ser aplicada a outros meios de controlo.

3 Metodologia

Neste capítulo, será explicada a metodologia adoptada ao longo do trabalho, bem como a caracterização do equipamento de medição utilizado e o software de modelação numérica.

O conteúdo deste trabalho é constituído por diversas tarefas que se podem resumir em quatro fases.

Numa primeira fase é realizado todo o estudo sobre o tema a abordar, onde será pesquisada literatura técnica, modos alternativos de propulsão, monitorizações experimentais e modelos numéricos de cálculos de emissões de poluentes e consumos de combustível.

Na segunda fase deste trabalho, foram realizadas monitorizações experimentais em banco de rolos, em estrada e uma modelação numérica através do modelo de emissões Copert 4[®] [17]. A monitorização em estrada abordava diversas situações frequentes no trânsito. A monitorização em banco de rolos, consistia em simular ensaios representativos de perfis de velocidade e tipos de condução obtidos ao longo da monitorização em estrada.

Na terceira fase, mostram-se os resultados obtidos pelas monitorizações, realiza-se a comparação entre os resultados obtidos através da monitorização experimental em banco de rolos e da monitorização experimental em estrada, para os casos específicos. Esta fase tem como base, a comparação do consumo de combustível e as quantidades de emissões de CO₂ produzidas ao longo de cada perfil de velocidade abordado. É feita a comparação entre os valores/resultados obtidos por via experimental (monitorizações) e os provenientes da modelação numérica. Mostram-se os resultados obtidos ao longo das fases realizadas.

Por fim, na quarta fase desta Dissertação, comparam-se consumos do veículo híbrido com os respectivos valores de veículos ligeiros a gasolina, ou seja, irei comparar as vantagens energéticas – ambientais da tecnologia de propulsão híbrida, face às tecnologias convencionais, tudo isto com base nos resultados obtidos por modelação numérica.

Na Figura 30 pode-se visualizar um fluxograma que resume as tarefas realizadas ao longo deste trabalho.

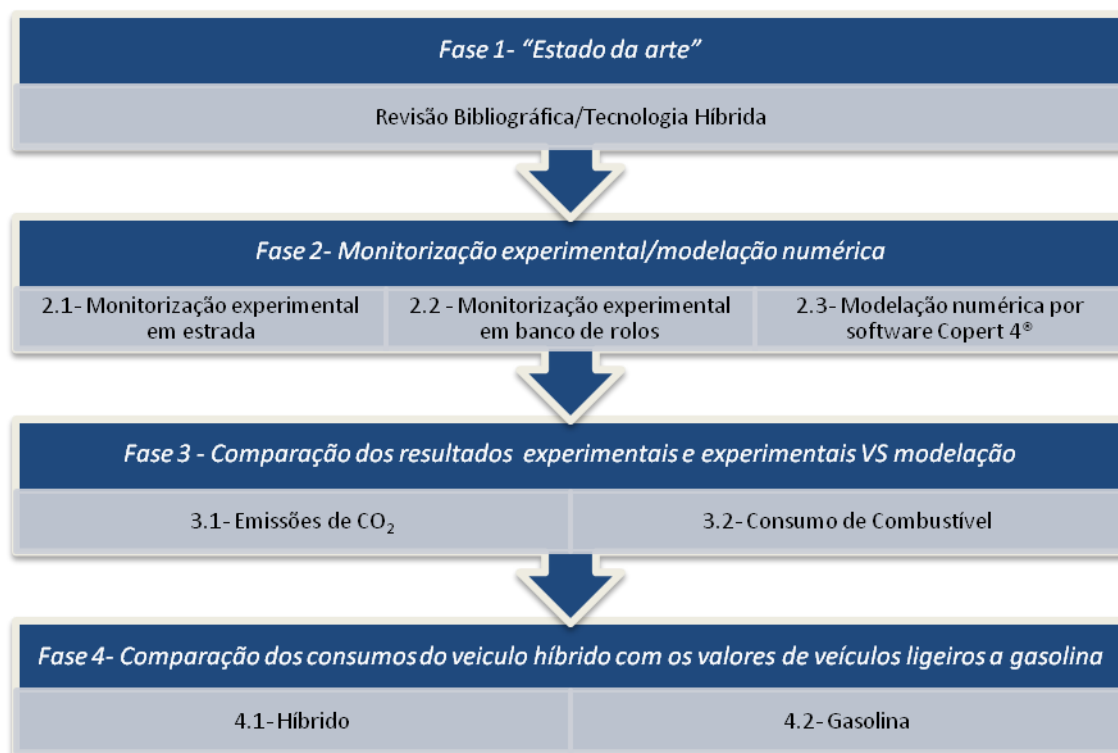


Figura 30: Fluxograma da Dissertação

3.1 Especificações do veículo

O veículo analisado é o Toyota Prius, do mês de Novembro de 2007, com sensivelmente 10000 km, cujas características técnicas relevantes a este trabalho se apresentam a seguir.

- **Motorização (motor a gasolina) [6]**

Tipo de combustível – gasolina

Cilindrada [cm³] – 1497

Nº de cilindros, configuração – 4, em linha

Potência máxima [kW (cv) /rpm] – 55 (77) /5000

Binário máximo [N.m/rpm] – 115/4000

- **Motorização (motor eléctrico) [6]**

Tipo – motor síncrono, íman permanente

Voltagem avaliada [V] – 500

Potência máxima [kW (cv) /rpm] – 50 (68) /1200 – 1450

Binário máximo [N.m /rpm] – 400/0 – 1200

- **Transmissão [6]**

Tracção – às rodas dianteiras

Tipo de transmissão – transmissão variável contínua controlada electronicamente (E – CVT)

- **Dimensões e massas [6]**

Comprimento total [mm] – 4450

Largura total [mm] – 1725

Altura total [mm] – 1490

Distância entre eixos [mm] – 2700

Peso bruto [kg] – 1725

Tara [kg] – 1300

- **Rodas [6]**

Jantes – em alumínio de 16 polegadas

Pneus – 195/55 R16

3.2 Caracterização do sistema OBD utilizado

O **sistema de diagnóstico a bordo (OBD)** serve para monitorizar os sistemas de emissão de gases e manter constantemente baixa a emissão de poluentes, através de uma quantidade elevada de sensores que permitem a análise da funcionalidade de componentes e sub – sistemas, bem como a análise do funcionamento do motor.

Quando algum dos componentes de controlo de emissões e/ou sistema do veículo não funcionar ou apresentar defeito, o OBD detecta-o, acende uma luz avisadora de mau funcionamento do motor e grava a avaria ocorrida na sua memória. Estas anomalias são

registadas através de códigos e possuem também a gravação da quilometragem no momento da anomalia. As anomalias serão, porém, arquivadas e podem ser lidas através da interface OBD [26].

Estes registos por códigos, permitem definir com maior facilidade as anomalias ocorridas no veículo e actuar mais rapidamente sobre elas. A Figura 31 representa o sistema de códigos de um sistema OBD.

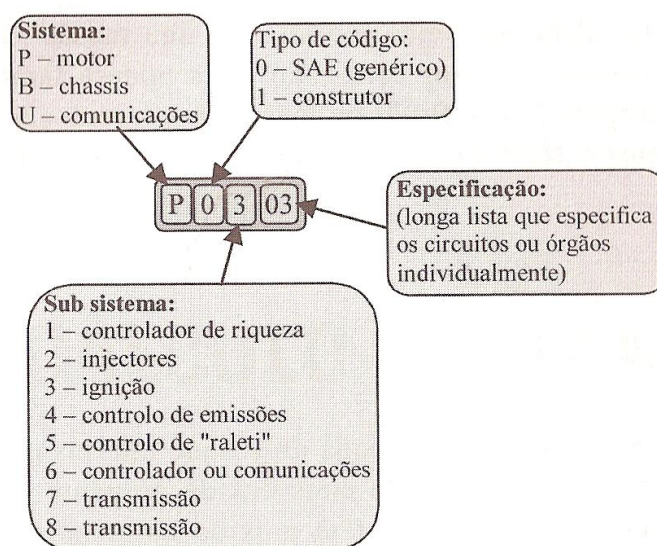


Figura 31: Sistema de códigos da OBD II [26]

O sistema OBD não mede directamente emissões; utiliza um método de controlo indirecto das emissões, verificando se os equipamentos/sistemas/componentes do veículo estão a funcionar dentro de certos parâmetros predefinidos [28].

Estes parâmetros predefinidos, estão legislados através da Directiva 1999/102/CE e pelo Decreto – Lei nº 26/2001. No caso dos parâmetros de emissões serem superiores aos predefinidos o OBD irá detectá-los.

A partir de 1 de Janeiro de 2000, todos os veículos ligeiros começaram a vir equipados com o OBD, consoante a categoria/classe/novos modelos e do tipo de combustível. Em veículos pesados foi obrigatório o uso de OBD a partir de 1 de Outubro de 2005.

A implementação do sistema OBD já possui alguns anos, pelo que existe o OBD I e mais recentemente o OBD II. O sistema OBD I, tratava-se apenas de um sistema de simples detecção de avarias eléctricas dos sensores. Eram continuamente avaliados sensores de temperatura, caudal e da riqueza da mistura, mas não fazia a protecção ou análise ao catalisador (elemento mais importante na eliminação dos poluentes) e as ligações e protocolos de diagnóstico variavam entre modelos e marcas.

Ao contrário do sistema OBD I, o OBD II já possui a protecção ao catalisador. Este sistema analisa o funcionamento do catalisador através de 2 sensores de oxigénio ("lambda") montados a montante e a jusante do catalisador, o que permite identificar o seu

funcionamento. Esta nova tecnologia permite detectar fugas no sistema de armazenagem e fornecimento de combustível, por testes de pressão aos sistemas. [26].

O aparelho de medição utilizado para efectuar as medições em banco de rolos e em estrada pode ser visualizado na Figura 32. Este aparelho, denominado de Intelligent Tester II[®] específico para os automóveis da Toyota, possui três módulos capazes de analisar e fornecer resultados do desempenho do veículo ao longo de cargas e velocidades diferentes. Poderemos analisar o desempenho do motor de combustão, todo o desenvolvimento da parte de controlo híbrido ou simplesmente os parâmetros associados ao funcionamento da bateria HV.

Este aparelho de medição, vem complementado com o software Intelligent Viewer[®] para que seja possível visualizar no computador os resultados dos diversos ensaios realizados ao longo do tempo. O utilizador pode aceder aos ficheiros dos ensaios através do próprio aparelho Intelligent Tester II[®], ou através de um computador externo que contenha os ficheiros relativos aos ensaios gravados no seu disco. Valores como rotações por minuto (rpm), velocidade do motor, estado de carga da bateria, temperatura dos componentes, binários, entre outros constituem algumas das principais informações que se podem obter por via deste aparelho [11].



Figura 32: Sistema OBD Intelligent Tester II[®] utilizado durante o estudo

O Intelligent Tester II[®] tem como principais capacidades; detecção da ligação com o veículo de forma automática, exibir os dados actuais dos parâmetros do veículo (“data list”), realizar o diagnóstico dos problemas por códigos (DTC), activar relés e solenóides (“active test”), exibir sinais de voltagem, capacidade de armazenamento de todos os dados dos parâmetros antes e/ou depois da anomalia (“Snapshot”) e reprogramação da unidade de controlo electrónica (ECU).

Portanto, o software Intelligent Tester II[®] é projectado e desenvolvido para um fácil manuseamento por parte do operador. Permite analisar uma variedade de sistemas contidos nos veículos. Para além dos referidos, analisa também sistemas de ar condicionado, ABS, motor e suspensão. Este software auto detecta e reconhece as funções do sistema electrónico de controlo sem necessitar de definir o modelo do veículo. O sistema diagnóstico implementado nos automóveis, ajuda-nos a determinar as condições de funcionamento do veículo. A ligação é feita através de uma ficha designada DLC3, incorporada no interior do veículo. Esta ficha que possui 16 terminais, cada um com funções para transmitir os dados do automóvel ao aparelho de medição [11] [33].

Na Tabela 5 estão referenciadas algumas das características importantes sobre o sistema OBD utilizado.

Tabela 5: Características principais do sistema Intelligent Tester II[®][11]

Designação	Referências	
Dimensões	145mm x 223mm x 71mm	
Peso	1.200 g	
Tensão de alimentação	DC 10-32V	
Consumo de energia	Normalmente 5.5W (12VDC).	
	Durante a carga 8,5 W (12 V DC)	
CPU	Hitachi SH7727 128 MHz	
RAM	32MB	
Comunicação com PC	Ranhura do cartão PC	Tipo I e tipo II
	Porta USB	1 Canal
	Porta série	1 Canal RS 232C
	CAN	1 Canal (Fast CAN)
Comunicação com o veículo	ISO 9141	1 Canal standard 12 V
Alimentação de emergência	Bateria de lítio 7,4 V 1,000 mA	
Tempo de carga	5 Horas	

Em Anexo encontram-se todas as características técnicas do aparelho de medição.

3.3 Condições de ensaio

Como foi referido, os ensaios consistiam em abordar várias situações frequentes em trânsito, de forma a efectuar uma análise concreta do desempenho do veículo nessas circunstâncias.

Relativamente à monitorização em estrada, estes ensaios decorreram numa estrada de asfalto da zona de Aveiro, com pouco trânsito, com uma inclinação insignificante, e por isso, aqui desprezada. Todos os ensaios foram realizados com condições meteorológicas de céu limpo, portanto sem nenhum tipo de humidade no asfalto, fruto de condições de chuva. Pretendia-se efectuar os ensaios nas condições meteorológicas mais frequentes em Portugal, de forma a obter-se uma melhor precisão com o panorama nacional, verificando-se uma temperatura ambiente de sensivelmente 20°C em todos os ensaios. A monitorização em banco de rolos decorreu no interior de um armazém da Toyota de Vila Nova de Gaia, pelo que as condições meteorológicas para este caso não eram relevantes.

Outras condições:

- O automóvel transportava 2 ocupantes de sensivelmente 80 kg cada, nas monitorizações em estrada;
- O automóvel transportava 3 ocupantes de sensivelmente 80 kg cada, nas monitorizações em banco de rolos;
- No início dos ensaios o reservatório de gasolina estava praticamente cheio;
- Em ambas as monitorizações foi utilizado o sistema OBD Intelligent Tester II[®], com uma duração máxima de 5 minutos para cada ensaio, de forma a obter-se uma escala de tempos semelhantes;
- Todos os ensaios efectuados em ambas as monitorizações, realizaram-se com o ar condicionado desligado, de forma a não influenciar os valores de consumo de gasolina no funcionamento do automóvel;
- Em todos os ensaios as janelas estavam fechadas de forma a não interferir na aerodinâmica do veículo.

Através do sistema OBD utilizado, não é possível obter valores de consumo de combustível ao longo dos ensaios, uma vez que foi seleccionado apenas o sistema híbrido do veículo, assim, devido a esta limitação, os valores de consumo de combustível foram obtidos por gravações realizadas ao consumo instantâneo exibido pelo computador de bordo como mostra a Figura 33.



Figura 33: Monitor do computador de bordo do Toyota Prius

3.4 Monitorização em estrada

Foram realizados ensaios em estrada, para simular condições específicas de trânsito. As situações abordadas foram as de “ pára-arranca”, de circulação em rotundas, de reduções de velocidade de forma a simular uma passagem numa faixa de “Via Verde” (120 km/h – 60 km/h – 120 km/h) e também de perfis de velocidade de 50 km/h, 70, km/h, 90 km/h e 120 km/h para três tipos de condução, com diferentes acelerações. Os três tipos de condução abordados foram: condução suave, condução intermédia e condução brusca. Estes ensaios permitiram analisar o desempenho do veículo em termos de consumo de gasolina, bem como alguns parâmetros importantes do sistema híbrido do automóvel.

Nos ensaios para os perfis de velocidade e tipos de condução (suave, intermédia e brusca), foram efectuados diversos ensaios de forma a verificar os consumos médios de gasolina para situações de aceleração e de circulação do veículo a velocidade constante, bem como as respectivas emissões de CO₂ subjacentes a esses consumos. Emissões de CO₂, referentes ao funcionamento do motor de combustão interna e do motor eléctrico. Analisou-se também a variação de carga da bateria para as diversas situações referidas.

A análise das situações de rotundas, consistia em verificar a influência de uma paragem numa rotunda nos consumos de gasolina, comparativamente a uma situação de circulação sem paragem.

Relativamente aos ensaios efectuados em pára-arranca, estes consistiam em dois tipos: o pára-arranca curto e o pára-arranca longo. Estes ensaios foram baseados em estudos já desenvolvidos sobre o tema, como se pode verificar na Tabela 6 [7] [8] [9] [10]. O pára – arranca curto era realizado simultaneamente de 5 metros em 5 metros, já no pára – arranca longo a distância era de 15 metros em 15 metros.

Tabela 6: Estudos realizados sobre situações de pára-arranca [7] [8] [9] [10]

Parâmetros	Pára-arranca longo	Pára-arranca curto	120-0 kph	0-120 kph
Velocidade máxima [kph]	8,6	5,4	120	120
Distância de aceleração [m]	4,5	1,2	NA	832
Distância [m]	5,3	2,6	NA	NA
Distância de desaceleração [m]	4,5	1,2	300	NA
Tempo de aceleração [s]	3,8	1,5	NA	36
Tempo de velocidade cruzeiro [s]	2,3	1,7	NA	NA
Tempo de desaceleração [s]	3,8	1,6	20	NA
Tempo de paragem [s]	9,7	6,8	NA	NA

NA – *Not applicable*

A Figura 34 ilustra exemplos de pára-arrancas realizados neste estudo.



Figura 34: Exemplos de pára-arrancas realizados

Na Tabela 7 estão demonstradas todas as informações sobre os ensaios realizados para a monitorização em estrada, quanto ao dia, hora e número de ensaios.

Tabela 7: Caracterização dos ensaios realizados em estrada

Designação	Local	Dias	Hora de início	Nº ensaios
50 km/h	Estrada	19-03-2008 22-04-2008	11h00 18h00	9
70 km/h	Estrada	01-04-2008 22-04-2008	18h00 18h00	6
90 km/h	Estrada	19-03-2008 22-04-2008	11h30 18h00	9
120 km/h	Estrada	19-03-2008 22-04-2008	11h50 18h00	9
Pára-arranca curto	Estrada	14-03-2008	10h45	5
Pára-arranca longo	Estrada	14-03-2008	11h05	4
Rotunda sem paragem	Estrada	01-04-2008	18h30	2
Rotunda com paragem	Estrada	01-04-2008	18h45	2
120 km/h – 60 km/h – 120 km/h	Estrada	01-04-2008	18h20	3

3.5 Monitorização em banco de rolos

Para a realização dos ensaios com vista à monitorização em banco de rolos do veículo híbrido, foi necessária a utilização do banco de rolos gentilmente cedido pela Toyota de Vila Nova de Gaia. Este banco de rolos da marca Maha modelo LPS 2000 [24], não é específico para simular uma circulação específica em estrada, mas permite, através da introdução de algumas informações aconselhadas pelo fabricante, realizar para cada perfil de velocidade, uma simulação em modo de condução livre aceitável para os casos que se pretendiam estudar.

Antes do início do ensaio, é necessária a instalação do aparelho de medição Intelligent Tester II[®] no automóvel e proceder a sua configuração correctamente (definir o modelo que se pretende ensaiar). O aparelho OBD Intelligent Tester II[®] é instalado no interior do veículo através de uma ficha DLC 3 que este possui, como já foi referido anteriormente.

Neste caso foram realizados ensaios para perfis de velocidades de 50 km/h, 70 km/h, 90 km/h e 120 km/h numa duração máxima de 5 minutos (300 s), sobre o sistema de controlo híbrido do automóvel. Estes ensaios consistiam em simular três tipos de condução do automóvel (condução suave, intermédia e brusca) para cada velocidade, obtidos inicialmente por uma monitorização em estrada, de modo a efectuar uma comparação entre as monitorizações. Por dificuldades de simulação de acelerações com a mesma

percentagem de curso do acelerador, foram analisados os consumos de gasolina apenas para velocidades constantes. De referir, que estes ensaios são realizados sempre com o veículo em modo de inspecção.

Para se efectuar uma simulação de condução livre neste banco de rolos, o sistema baseia-se no cálculo da força associada à resistência ao avanço. Para isso, é necessário saber que um veículo no seu movimento, está sujeito a diversas forças como mostra a Figura 35, por este motivo, para se realizar uma simulação credível em banco de rolos é necessário estipular o valor destas.

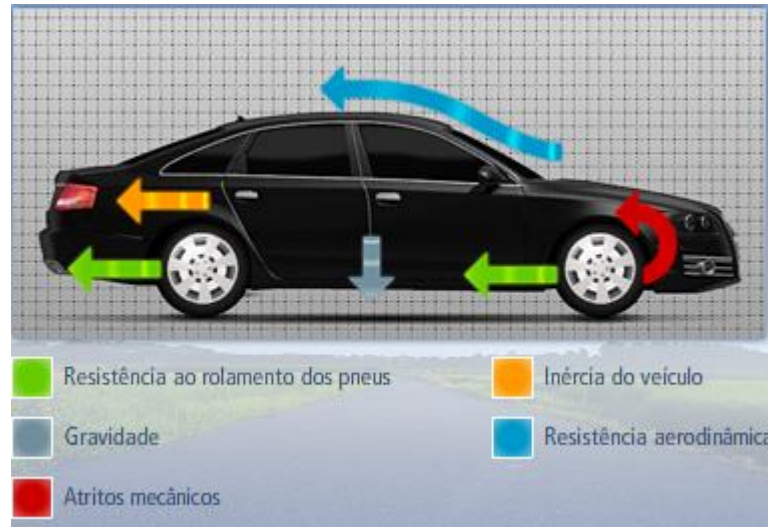


Figura 35: Forças que se opõem ao movimento [27]

As forças mais relevantes a este trabalho devido às suas ordens de grandeza são:

- Arrasto aerodinâmico;
- Atrito de rolamento;

Foram calculados o valor das potências associadas a cada uma destas forças, de forma a introduzir essas informações no sistema de comando do banco de rolos. Por conseguinte, também foi considerada a introdução do valor de potência associada à flexão ocorrida nos pneus. Os parâmetros foram calculados de acordo com uma velocidade de referência de 90 km/h, aconselhado pelo fabricante. Para as restantes velocidades, o sistema de banco de rolos recalcula automaticamente as novas condições de ensaio.

Estes valores são introduzidos na seguinte expressão, relativa à força de resistência ao avanço [24].

$$F_x = \frac{P_L \times 3,6 \times V^2}{V_{Ref}^3} + \frac{P_W \times 3,6 \times V}{V_{Ref}^2} + \frac{P_R \times 3,6}{V_{Ref}} + a \times m \quad (1)$$

Com,

- V_{Ref} – Velocidade de referência para valores de potência de resistência. Normalmente 90 km/h, como aconselha o fabricante.
- V – Velocidade do veículo [km/h].
- P_L – Potência associada ao arrasto aerodinâmico [kW].
- P_W – Potência associada à flexão dos pneus [kW].
- P_R – Potência associada ao atrito do rolamento [kW].
- a – Aceleração [m/s^2].
- m – Massa do veículo [kg].

- **Potência associada ao arrasto aerodinâmico [kW] [24]**

A potência de arrasto aerodinâmica, é proporcional à área frontal do automóvel e ao coeficiente de arrasto, e é dada pela seguinte expressão:

$$P_L = 0,5 \times \rho \times c_w \times A \times (V + V_0)^2 \times V \quad (2)$$

onde;

- $\rho = 1,1 \text{ kg/m}^3$ - Densidade do ar [kg/m^3] [29].
- $c_w = 0,26$ - Coeficiente de arrasto (para o Prius)[6].
- $A = 1,725 \text{ m} \times 1,49 \text{ m}$ - Área frontal do automóvel [m^2] [6].
- V - Velocidade do automóvel [km/h].
- $V_0 = 0 \text{ m/s}$ - Velocidade do vento [m/s].

O padrão de avaliação da eficácia aerodinâmica é o coeficiente da resistência do ar ao movimento (ou coeficiente de arrasto) que permite comparar a força de resistência ao movimento, com a força que seria necessária para parar o fluxo de ar na dianteira do carro. Quanto mais elevado for o coeficiente de resistência ao movimento, maior será a força aerodinâmica de resistência ao movimento que o motor de um automóvel terá de superar.

- **Potência associada ao atrito do rolamento [kW] [24]**

O atrito de rolamento é uma força que tem origem na interface pneu – superfície do rolo. Quanto maior for a área deformada no pneu ou a velocidade, maior será a força de arrasto e consequentemente a sua potência. Esta potência é obtida pela seguinte expressão:

$$P_R = \mu_r \times m \times g \times V \quad (3)$$

onde;

- $\mu_r = 0,012$ - Coeficiente de resistência dos pneus (fornecido pelo fabricante) [24].
- $m = 1300$ kg - Massa do automóvel (massa do Prius) [kg] [6].
- $g = 9,81$ m/s² - Aceleração da gravidade [m/s²] [29].
- V - Velocidade do automóvel [km/h].

A cada volta do pneu, os componentes da borracha deformam-se enquanto seguem o traçado da estrada. Ao mesmo tempo que a borracha deforma-se, aquece e perde energia em forma de calor. Esta perda de energia denomina-se de resistência ao rolamento. Por isso a escolha do tipo de pneu, é um dos factores que afectam a condução, nomeadamente, a resistência ao movimento. Pneus com características de baixo atrito oferecem menor resistência e estão bem preparados para o longo curso.

A pressão correcta do ar dos pneus também é muito importante. Uma pressão baixa aumenta a deformação, a resistência ao andamento, os consumos e o desgaste prematuro dos pneus.

No que toca à escolha das vias, depreende-se que uma estrada plana e lisa, oferece menor resistência e menores consumos que uma estrada com superfície irregular. Por outro lado, o correcto alinhamento dos eixos do automóvel é decisivo, não só em termos de desgaste, mas também para se obterem menores índices de resistência.

- **Potência associada à flexão dos pneus [kW] [24]**

Este parâmetro representa uma perda de potência que ocorre devido à flexão dos pneus nos rolos. De acordo com o manual do fabricante do banco de rolos, este valor será muito baixo devido ao reduzido coeficiente de resistência à flexão, pelo que não terá influência relevante durante os testes. Esta potência é dada pela seguinte expressão:

$$P_w = \mu_w \times m \times g \times V \quad (4)$$

onde;

- μ_w – Coeficiente de resistência à flexão.

Na Figura 36 estão ilustradas algumas imagens dos ensaios realizados em banco de rolos.

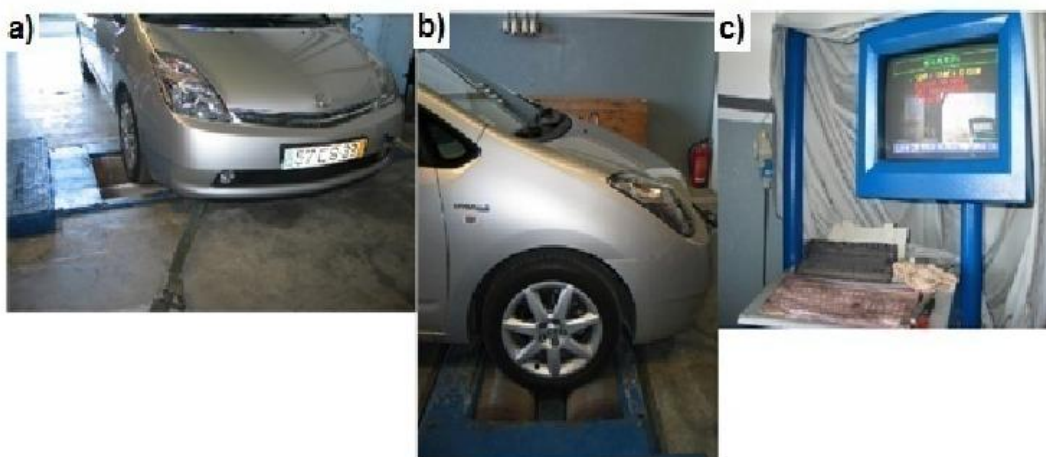


Figura 36: a) Banco de rolos, b) Veículo no banco de rolos, c) Monitor de configuração

A Tabela 8 demonstra a descrição dos ensaios realizados para esta monitorização, quanto aos dias, horas e números de ensaios para cada situação estudada.

Tabela 8: Caracterização dos ensaios realizados em banco de rolos

Designação	Local	Dias	Hora de início	Nº ensaios
50 km/h	Banco de rolos	30-04-2008 09-05-2008	14h30 14h30	9
70 km/h	Banco de rolos	30-04-2008 09-05-2008	14h30 14h30	9
90 km/h	Banco de rolos	30-04-2008 09-05-2008	14h30 14h30	9
120 km/h	Banco de rolos	30-04-2008 09-05-2008	14h30 14h30	9

3.6 Copert 4[®]

Ao longo deste estudo é necessário realizar uma modelação numérica para calcular as emissões e consumos de veículos híbridos e também para alguns veículos convencionais a gasolina. O modelo utilizado no âmbito deste trabalho é o Copert 4[®] [17], por se tratar do modelo mais aconselhado no contexto deste estudo.

Como referi, o Copert 4[®] [17] é um modelo de estimativa de emissões para o sector de transportes rodoviários, mas que está perfeitamente em conformidade com os requisitos das convenções e protocolos internacionais e legislação da UE. Possui uma base de dados com diversos veículos de acordo com as normas Euro, o que permite-nos à partida fazer comparações entre eles.

Para efectuar o cálculo de emissões, é necessário definir informações sobre os veículos e também alguns dados de entrada. Os resultados obtidos pelo Copert 4[®] [17] dependem da análise do tipo de combustível, cilindrada do motor, tecnologia do veículo, velocidade de circulação, distância média por viagem, temperatura atmosférica e RVP da gasolina (pressão de vaporização). Estas variáveis permitem-nos obter o cálculo das emissões de todos os GEE gerados durante a utilização do veículo de modo rodoviário.

Para cada tipo de veículo (classificado de acordo com as variáveis atrás referidas) existe uma curva de estimativa de emissões para cada gás. Essa estimativa depende do factor de emissão. O factor de emissão, varia segundo a velocidade média de circulação (km/h) e este resulta da ponderação dos vários factores de emissão estimados para cada classe de automóveis em circulação. O software recorre a informação de base para calcular a emissão de cada gás, informações como: constituição do parque automóvel e velocidade média de circulação (Urbano, Rural e Auto – Estrada) [16].

Pressão de vaporização da gasolina

Um dos parâmetros de entrada necessários, para obtenção de resultados coerentes, através do Copert4[®] [17] é a pressão de vaporização da gasolina (“Reid Vapour Pressure” – RVP). Os valores para esta variável encontram-se na Portaria n.º 125/89, de 18 de Fevereiro, com as características da gasolina. Este parâmetro é importante, uma vez que vai influenciar as emissões a frio. Os seus valores podem ser analisados na Tabela 9.

Tabela 9: Pressão de vaporização da gasolina sem chumbo [12]

Datas	RVP [kPa]
1 Novembro a 31 Março	Entre 60 e 98
1 Abril a 15 Junho	83
16 Setembro a 31 Outubro	83
16 Junho a 15 Setembro	70

Cálculo de emissões de poluentes

Fruto das normas europeias no que respeita à protecção do meio ambiente, os automóveis são obrigados a respeitar valores máximos de emissões de gases nocivos, nomeadamente de CO, de NOx, de HC e de PM. No sentido de minimizar estas emissões foram introduzidas algumas soluções como: catalisadores, filtros de partículas assim como a recirculação dos gases de escape.

O modelo Copert 4[®] [17] calcula as emissões dos vários poluentes, com base nas seguintes expressões:

$$E_{ij} = \sum_j (FC_j \times EF_{ij}) \quad (5)$$

E_{ij} – Emissões de um poluente i de um veículo da categoria j [gr de poluente]

FC_j – Consumo de um veículo da categoria j [kg de combustível]

EF_{ij} – Factor de consumo específico de combustível de emissão de um poluente i de um veículo da categoria j [gr de poluente/kg de combustível]

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD} + E_{EVAP} \quad (6)$$

E_{HOT} – Emissões durante o funcionamento a quente [gr]

E_{COLD} – Emissões durante o funcionamento a frio [gr]

$$E_{TOTAL} = E_{URBANO} + E_{RURAL} + E_{AUTO-ESTRADA} \quad (7)$$

$E_{URBANO}, E_{RURAL}, E_{AUTO-ESTRADA}$: é o total de emissões [gr] para cada poluente de acordo com a respectiva viagem.

Veículos a gasolina abrangidos pela norma EURO 1 e seguintes [17]

Os factores de emissão para o cálculo de emissões a quente (“HOT emissions”) são dados pela seguinte expressão:

$$EF = (a + c \times V + e \times V^2) / (1 + b \times V + d \times V^2) \quad (8)$$

onde:

a, b, c, d, e - factores tabelados para cada poluente e consumo, de acordo com a sua norma EURO, cilindrada e velocidade média de circulação do veículo. Essas tabelas podem ser visualizadas nos Anexos.

V – velocidade do veículo [km/h]

Veículos híbridos de cilindrada inferior a 1.6 l [17]

Os factores de emissão para o cálculo de emissões a quente (“HOT emissions”) são dados pela seguinte expressão:

$$EF = a + c \times V + e \times V^2 \quad (9)$$

onde:

a, c, e - factores tabelados para cada poluente e consumo, de acordo com a sua norma EURO, cilindrada e velocidade média de circulação do veículo. Essas tabelas podem ser visualizadas nos Anexos.

V – velocidade do veículo [km/h]

3.7 Consumo de combustível

Através dos ensaios realizados, obtêm-se valores do consumo de combustível ao longo do tempo em [l/100km]. Posteriormente para o cálculo das emissões de CO₂, é necessário conhecer os valores do consumo de gasolina em g/km. Estes valores podem ser obtidos pelas seguintes expressões:

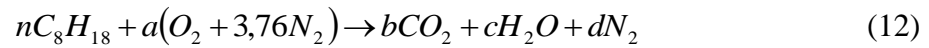
$$\Leftrightarrow Consumo \left[\frac{l}{100km} \right] = Consumo \left[\frac{g}{km} \right] \times \frac{1}{\rho} \times 100 \Leftrightarrow \quad (10)$$

$$\Leftrightarrow Consumo \left[\frac{g}{km} \right] = \frac{Consumo \left[\frac{l}{100km} \right]}{\frac{1}{\rho} \times 100} \times 1000 \quad (11)$$

em que ρ , representa a massa específica da gasolina que neste caso tem o valor de 0,75 kg/l [29].

3.8 Cálculo de emissões de CO₂

A fórmula química da gasolina é dada por C₈ H₁₈, e a combustão típica dos gases de escape é dada pela seguinte equação química:



onde a, b c e d são os coeficientes que se pretende calcular de acordo com n número de moles de combustível.

O número de moles do combustível (n) é possível saber, conhecendo-se a massa de combustível (m) e a sua massa molar (M). A massa de combustível vem da expressão 11 em g/km. Logo, aplicando esse valor à seguinte expressão, pode-se saber o número de moles de combustível para cada situação.

$$n = \frac{m}{M} \quad (13)$$

Sabendo o número de moles de combustível, pode-se calcular os parâmetros da equação química anterior, que permite obter o valor do número de moles de CO₂. Aplicando novamente a expressão 13, sabe-se a massa de CO₂ produzida pela queima de uma determinada quantidade de combustível.

A massa molar de combustível (C₈H₁₈) utilizada nos cálculos foi de 114 g/mol, e a do CO₂ é de 44 g/mol.

4 Resultados obtidos e sua discussão

Neste capítulo estarão representados os resultados obtidos para as monitorizações experimentais em estrada e em banco de rolos, bem como os resultados da modelação numérica. Posteriormente será feita a comparação entre essas três fases do trabalho.

4.1 Monitorização experimental em estrada

Simulou-se situações de pára-arranca, de circulação em rotundas, de diferentes perfis de velocidade e também uma simulação de alteração de velocidade com reduções e acelerações, nomeadamente de 120 km/h – 60 km/h – 120 km/h.

Para todas as situações abordadas, pretende-se realizar uma análise de consumos e emissões de CO₂ produzidas por parte do motor de combustão interna e também devido ao funcionamento do motor eléctrico. Pretende-se analisar a variação de carga da bateria ao longo dos casos específicos.

O estudo das situações de pára-arranca baseou-se em investigação desenvolvida anteriormente [7 – 10], e teve como principal objectivo a caracterização de consumos / emissões de CO₂ em situações de pára-arranca curto e pára-arranca longo. Para relembrar, os pára – arrancas curtos eram efectuados de 5 em 5 metros e os pára – arrancas longos de 15 em 15 metros (tal como indicado na Tabela 6).

Relativamente às situações de rotundas, pretendeu-se com este estudo analisar a influência de uma paragem prévia na via de entrada de uma rotunda quando comparada a uma circulação sem paragem.

Para os diferentes perfis de velocidade abordados, pretendeu-se essencialmente analisar os consumos de gasolina, para as situações de aceleração e de circulação do automóvel a uma velocidade sensivelmente constante. Pretende-se apresentar as emissões de CO₂ relativas ao motor de combustão interna e devido ao funcionamento do motor eléctrico ao longo de cada perfil, verificando-se também a variação do curso do acelerador para cada caso.

Quanto ao caso de 120 km/h – 60 km/h – 120 km/h, pretendeu-se simular uma passagem na faixa de “Via Verde” de uma auto-estrada, onde obrigatoriamente se faz uma redução de velocidade para efectuar a passagem na zona de portagem, seguida de uma aceleração para atingir a velocidade cruzeiro de forma a retomar o ritmo da viagem. Neste caso são analisados os consumos de gasolina, as emissões de CO₂ produzidas, bem como a variação média do estado de carga da bateria.

4.1.1 Pára - arranca

- *Pára-arranca curto*

A Figura 37 representa o perfil de velocidades para diversos pára – arrancas curtos. Na Tabela 10 podem ser analisados os valores dos parâmetros mais importantes obtidos ao longo destes ensaios para cada pára-arranca.

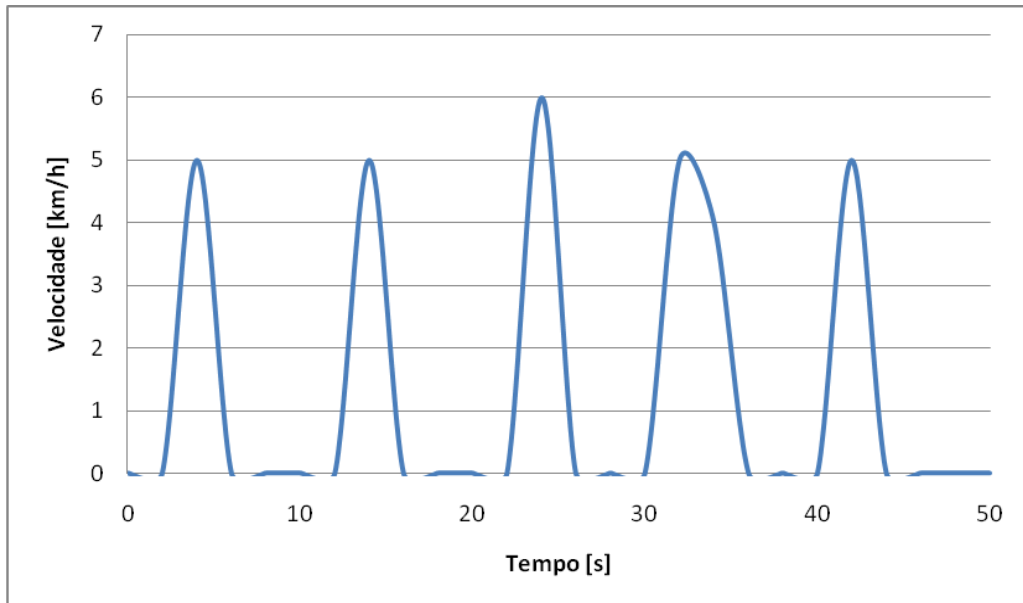


Figura 37: Perfil de Velocidades durante as situações de pára - arrancas curtos

Como se conhece a variação média do estado de carga da bateria ao longo dos pára - arrancas, obtem-se por esta forma a variação de potência da bateria, uma vez que conhece-se o valor nominal da potência desta, pelo que, aplicando um factor de conversão, consegue-se saber a emissão de CO₂ em cada pára – arranca. O factor de conversão aplicado é dado por [29]:

$$1\text{kW.h} = 0,523 \text{ kg CO}_2$$

Tabela 10: Resultados médios obtidos para um pára-arranca curto

Parâmetros	Valores
Carga de aceleração máxima [%]	20,50±2,61
Velocidade máxima [km/h]	5,67±0,58
Tensão máxima [V]	219,33±1,15
Intensidade de corrente máxima [A]	31,33±1,15
Variação média de SOC da bateria [%]	0,33±0,06
Variação de potência da bateria [kWh]	0,43 ± 0,08
Emissão de CO ₂ [kg]	0,22 ± 0,04

Em Anexo estão alguns gráficos relativos ao estado de tensão e intensidade de corrente da bateria para esta situação de pára-arranca.

- **Pára-arranca longo**

A Figura 38 representa o perfil de velocidade para alguns pára – arranca longos efectuados. Na Tabela 11 pode-se analisar os valores dos parâmetros mais importantes obtidos ao longo dos ensaios.

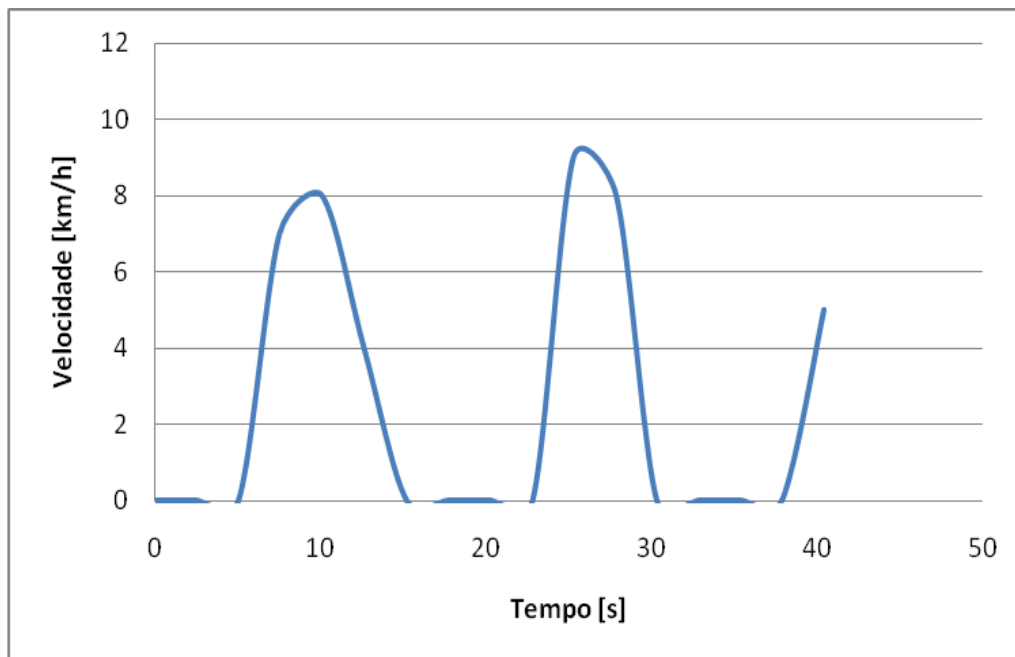


Figura 38: Perfil de Velocidades durante as situações de pára - arrancas longos

Ao longo dos ensaios representativos de pára–arrancas longos, verificaram-se os seguintes valores máximos para cada pára - arranca.

Tabela 11: Resultados obtidos para cada pára – arranca longo efectuado

Parâmetros	Valores
Carga de aceleração máxima [%]	21,40±2,78
Velocidade máxima [km/h]	9,33±1,15
Tensão máxima [V]	224,67±4,62
Intensidade de corrente máxima [A]	26,67±2,31
Variação média de SOC da bateria [%]	0,50±0,10
Variação de potência da bateria [kWh]	0,65 ± 0,13
Emissão de CO₂ [kg]	0,34 ± 0,07

Após a análise dos resultados obtidos para as situações de pára-arranca curto e pára-arranca longo, pode-se concluir que em ambas as situações se verificou a presença de funcionamento do motor de combustão interna na fase de aceleração. Por este facto, foram observados por alguns instantes de tempo consumos instantâneos de gasolina que rondavam os 25 l/100km e 40 l/100km.

Verifica-se que em termos de carga de aceleração máxima (curso do acelerador), obtêm-se valores superiores durante um pára-arranca longo (0,9%), o que também faz com que a velocidade máxima atingida nessa situação seja superior em 3,6 km/h, quando comparado a um caso de pára-arranca curto. Esta constatação é justificada devido às diferentes distâncias dos pára – arrancas, pois no caso de pára – arrancas longos, um condutor tem mais tempo para acelerar e atingir por isso velocidades e acelerações maiores.

Devido ao facto de se obterem maiores capacidades de aceleração durante um pára – arranca longo, a variação do estado de carga da bateria também passa a ser superior em 0,17% para esse caso, pois durante a aceleração, a bateria terá de auxiliar o motor eléctrico do veículo com mais energia, sendo esta perda de energia por parte da bateria, compensada com a presença de desacelerações maiores, o que faz com que a recuperação de energia associada ao processo de travagem regenerativa seja mais elevada, ocorrendo dessa forma, uma variação do estado de carga da bateria superior quando comparado à situação de um pára – arranca curto. A variação do estado de carga da bateria, tem influência directa nas emissões de CO₂ produzidas, pelo que são mais elevadas no pára – arranca longo em 54,5% face a um pára-arranca curto. Em termos de tensão e corrente da bateria, não se verifica uma diferença significativa, pois os valores são muito equivalentes para ambos os pára - arranca. Neste caso pode-se referir que existe um maior fluxo de tensão na bateria para situações em que a variação do estado de carga da bateria é mais elevada.

Na fase seguinte deste trabalho, estarão representados, os resultados dos ensaios para diferentes perfis de velocidades ensaiados, de forma a obter a monitorização do consumo de gasolina, as emissões de CO₂ produzidas e a variação de SOC da bateria. De referir, que todos os ensaios, foram efectuados com a carga da bateria dentro dos limites predefinidos, ou seja, em nenhum caso a bateria estava numa situação considerada descarregada.

Em todos as situações abordadas ao longo deste estudo, verificou-se uma diferença entre a velocidade marcada no velocímetro do automóvel e a sua velocidade real, ou seja, a velocidade indicada no velocímetro do automóvel é sempre superior em cerca de 5 a 10 % relativamente à velocidade real, fruto do erro do velocímetro.

4.1.2 Ensaios para diferentes perfis de velocidades

Nas figuras e tabelas seguintes, estão representados os resultados obtidos para cada ensaio da monitorização em estrada para os diferentes perfis de velocidades.

Em ambas as situações ensaiadas, verificou-se no perfil de velocidade e curso do acelerador, a existência de quatro patamares diferentes, isto é, existe inicialmente uma fase de aceleração (rampa de aceleração) até à velocidade pretendida, depois existe um patamar de transição onde se tenta estabilizar a velocidade, verificando-se por isso uma redução do curso do acelerador, seguidamente, o patamar de velocidade e aceleração sensivelmente constantes e por fim uma fase de desaceleração associada à travagem. O consumo de gasolina contabilizado a velocidade constante refere-se apenas, ao intervalo após a passagem do patamar de transição de forma a que os parâmetros de velocidade e de aceleração estejam sensivelmente constantes. Faz-se por isso, a análise de consumos de gasolina para as fases de aceleração e de velocidade constante. Por esta forma, não se analisaram os consumos para a fase de travagem porque os seus valores observados eram nulos, pelo facto de, quando se efectua a travagem, existir automaticamente um corte de injeção de gasolina no motor de combustão interna.

- **50 km/h**

Na Tabela 12, estão representados os resultados obtidos para os ensaios realizados para a velocidade de 50 km/h e os diferentes tipos de condução simulados.

Foram analisados os valores de consumo de gasolina para a situação de aceleração do automóvel, ou seja, referente à fase de rampa de aceleração até à velocidade de 50 km/h, bem como a análise do consumo médio de gasolina para a fase de velocidade sensivelmente constante. Estão também apresentados as respectivas emissões de CO₂ produzidas por esses consumos. Faz-se referência à variação média do estado de carga da bateria, durante a realização dos ensaios, bem como o valor médio do curso do acelerador a

velocidade constante e o valor médio do curso no máximo obtido durante a rampa de aceleração.

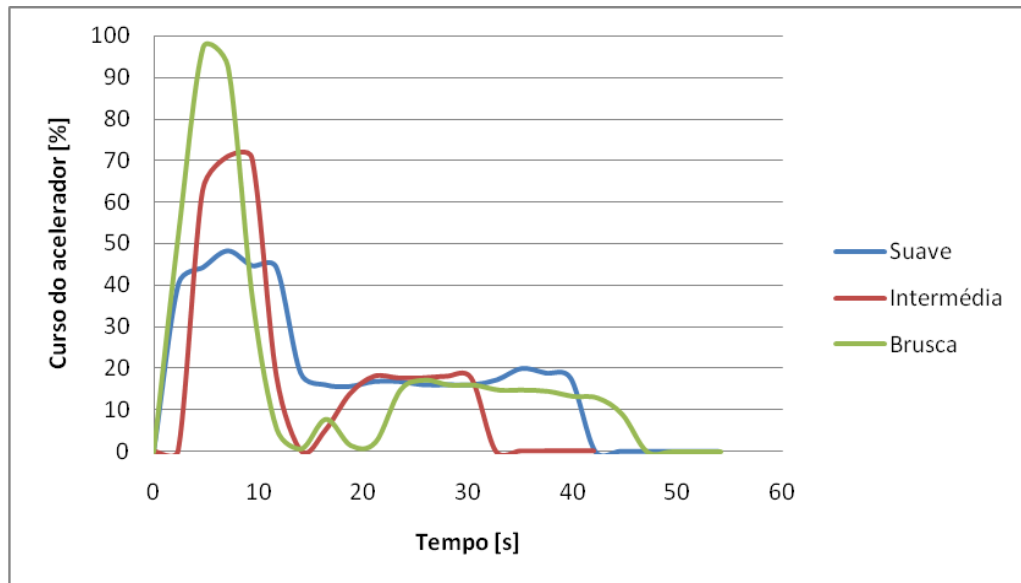


Figura 39: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 50 km/h

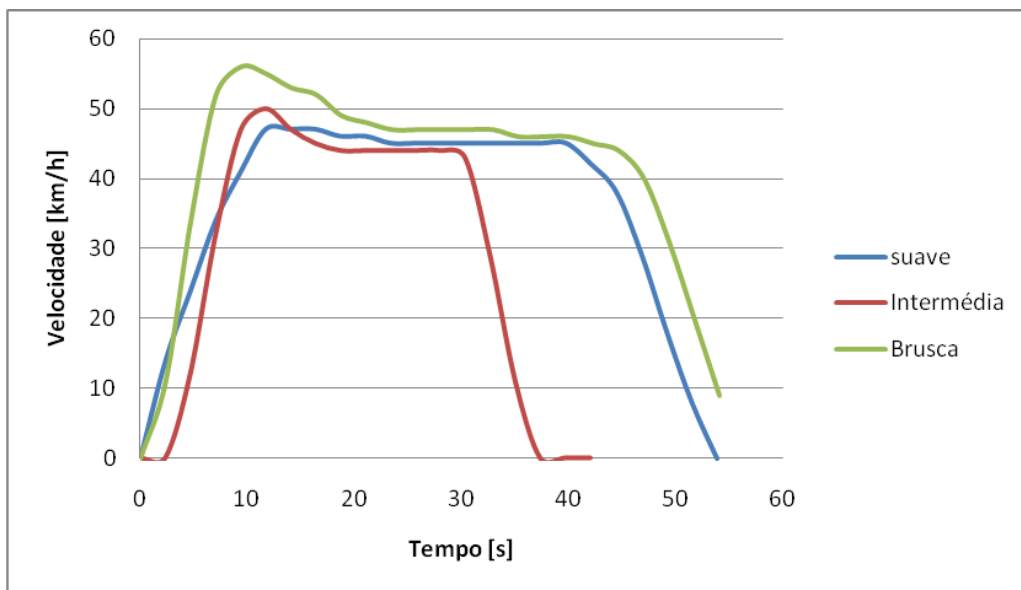


Figura 40: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 50 km/h

Através da observação das figuras anteriores, verifica-se claramente a influência do estilo de condução nas diferentes rampas de aceleração e nos distintos tempos obtidos até alcançar uma velocidade de 50 km/h.

Tabela 12: Resultados obtidos para a velocidade de 50 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédia	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	17,47 ± 1,15	17,11 ± 0,85	13,81 ± 1,04
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Média do curso do acelerador no máximo [%]	49,23 ± 3,27	61,77 ± 8,65	99,00 ± 1,56
Consumo médio de gasolina em aceleração [l/100km]	11,83 ± 0,22	12,64 ± 0,65	18,02 ± 0,48
Emissão de CO₂ em aceleração devido ao consumo de gasolina [g/km]	273,96 ± 5,09	292,72 ± 15,05	417,31 ± 11,12
Variação média de SOC [%]	0,54 ± 0,13	0,53 ± 0,02	0,82 ± 0,21
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,37 ± 0,09	0,36 ± 0,01	0,56 ± 0,14

Como pode-se verificar na tabela anterior, o consumo médio de gasolina para uma velocidade constante de 50 km/h é nulo, o que demonstra bem as vantagens desta propulsão híbrida relativamente à economia de combustível. Este valor é nulo, devido a duas situações; a primeira, porque à velocidade constante a média do curso do acelerador premido possui valores reduzidos, segunda, pelo facto de todos os ensaios serem realizados com a capacidade de carga da bateria dentro dos valores predefinidos, ou seja, nunca com a bateria descarregada, pelo que o motor de combustão interna não foi ligado para carregar a bateria.

Verificou-se que os consumos de gasolina aumentam à medida que o tipo de condução se torna mais brusca na aceleração. Esta diferença permite constatar que a variação do estado de carga da bateria é superior em 0,28% para um estilo de condução brusca, quando comparado a uma condução suave, pois é feita uma maior exigência ao sistema híbrido do automóvel, logo são produzidas mais 0,19 kg de CO₂ neste caso, o que demonstra a importância para o ambiente de se praticar uma condução mais suave. Existe por isso, uma grande produção de CO₂ nas fases de aceleração, devido ao consumo de gasolina ser muito elevado e pela variação do estado de carga da bateria. Verificou-se que ao efectuar-se um arranque em condução agressiva, que o consumo médio de gasolina era superior em 6,2 l/100 km quando comparado a um arranque realizado de forma suave, o que produziu uma emissão de mais 143,4 g/km de CO₂ para o ambiente.

Relativamente às médias do curso do acelerador a velocidade constante, verifica-se alguma variabilidade entre os três tipos de condução, esta situação é explicada pelo facto de os ensaios serem realizados numa estrada, em que por vezes possuía algum trânsito, pelo que seria difícil manter uma aceleração totalmente constante em situações de ultrapassagens, bem como, em situações de automóveis a circular na faixa contrária que influenciavam a sensibilidade do condutor para manter a aceleração e velocidade totalmente constantes. Estes factores poderiam originar ventos laterais que influenciavam directamente o comportamento do veículo. Para além disso, as condições de tempo no que respeita à velocidade e direcção do vento tem influência directa na sensibilidade para manter um curso de acelerador constante, pois os ensaios foram realizados com estado do tempo limpo, mas efectuados em diferentes dias, pelo que o vento poderia variar a sua direcção. Outro facto será o estado do piso da estrada, pois, independentemente de se tratar de uma estrada sem declives, esta possuía ligeiras irregularidades fruto de degradação do asfalto em algumas zonas, originando vibrações prejudiciais aos resultados.

- **70 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador para ensaios a velocidade de 70 km/h. Verifica-se a presença de um bom patamar de acelerador constante em ambas as situações estudadas, bem como uma rampa de aceleração elucidativa para cada tipo de condução.

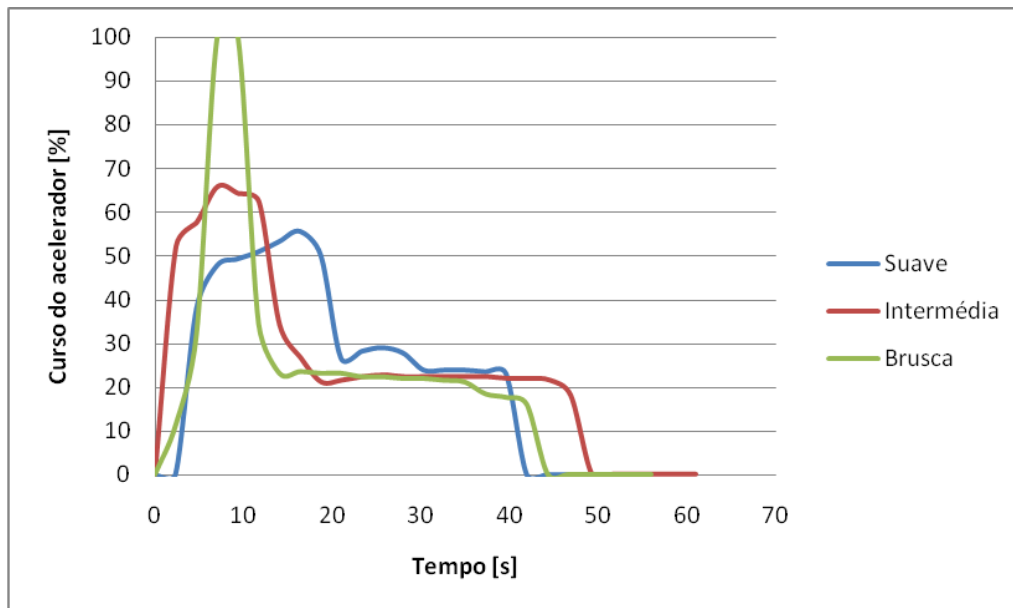


Figura 41: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 70 km/h

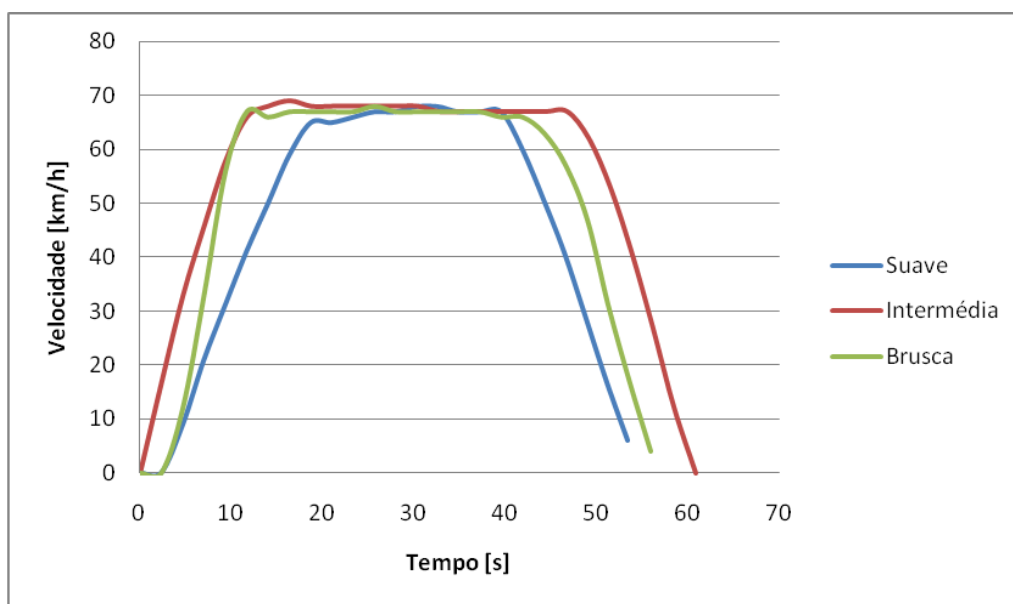


Figura 42: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 70 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados estão representados na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados obtidos para a velocidade de 70 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédia	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	19,26 ± 6,23	23,04 ± 1,31	21,43 ± 0,43
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	3,45 ± 0,13	3,64 ± 0,37	3,68 ± 0,14
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	79,89 ± 3,01	84,29 ± 8,57	85,22 ± 3,24
Média do curso do acelerador no máximo [%]	56,20 ± 0,85	65,60 ± 0,28	99,90 ± 0,00
Consumo médio de gasolina em aceleração [l/100km]	13,38 ± 0,28	13,57 ± 0,11	18,06 ± 0,14
Emissão de CO₂ em aceleração devido ao consumo de gasolina [g/km]	309,85 ± 6,48	314,25 ± 2,55	418,23 ± 3,24
Variação média de SOC [%]	0,92 ± 0,25	0,83 ± 0,03	1,14 ± 0,13
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,63 ± 0,17	0,56 ± 0,02	0,78 ± 0,09

Como pode-se verificar na tabela anterior, já se obtêm cargas de aceleração superiores fruto de se atingirem velocidades mais elevadas para o perfil estudado. Observa-se a existência de consumo de gasolina durante a fase de velocidade constante ao contrário do acontecido no perfil de velocidade de 50 km/h, o que demonstra que já se alcança um patamar onde existe uma maior exigência, obrigando o motor de combustão interna a auxiliar o motor eléctrico com potência para deslocar o automóvel. Esta exigência sobre o motor eléctrico está bem patente nas suas emissões de CO₂ ao longo do perfil, que são superiores entre 39,2% numa condução brusca a 70,3% numa condução suave quando comparado aos resultados obtidos no perfil de 50 km/h. Presencia-se a particularidade de se obterem para todos os parâmetros analisados valores de desvio padrão reduzidos, o que

demonstra resultados fiáveis sobre os ensaios realizados. O consumo de gasolina numa aceleração suave é 4,7 l/100km inferior a uma aceleração brusca.

- **90 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador para ensaios a velocidade de 90 km/h.

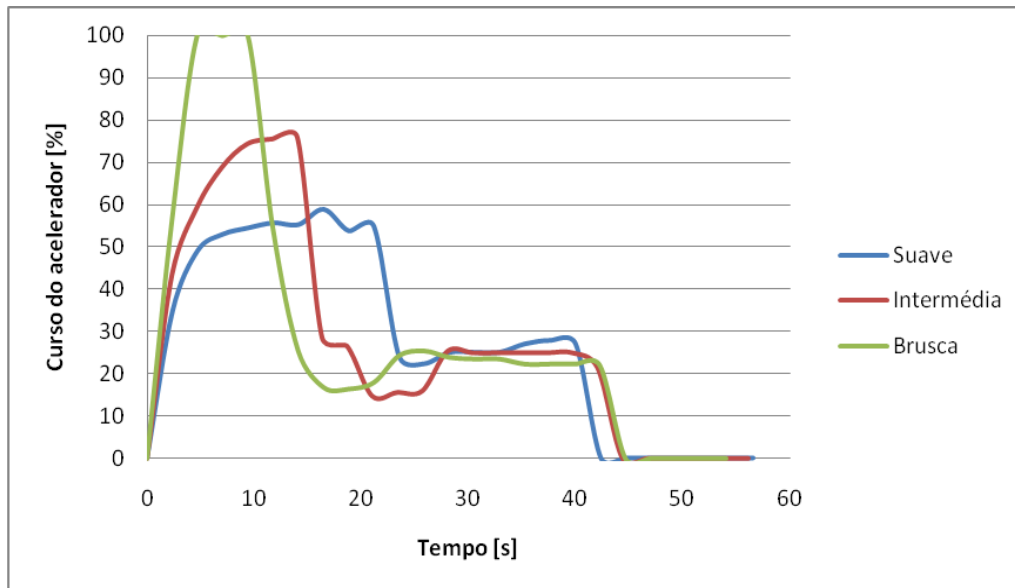


Figura 43: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 90 km/h

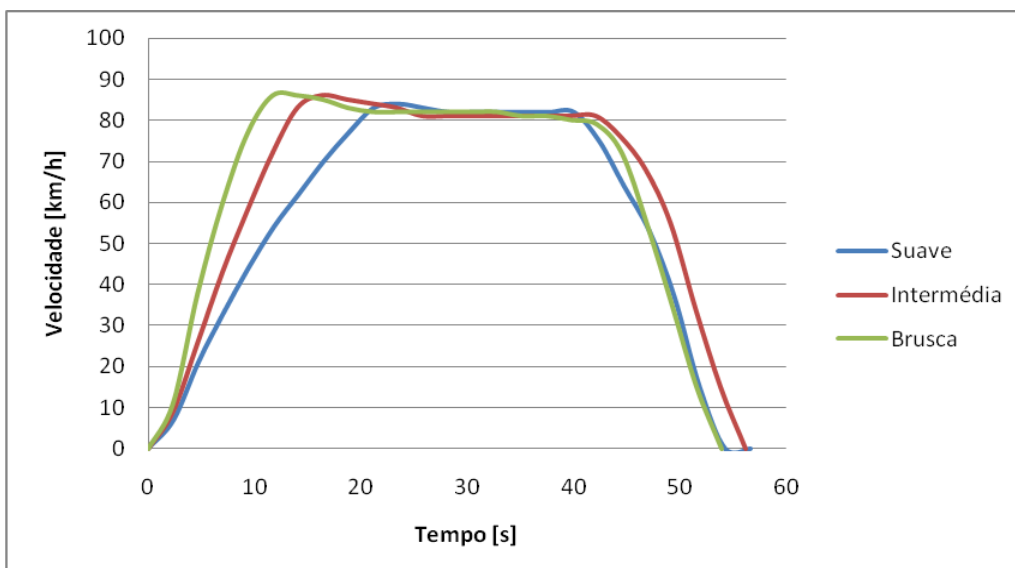


Figura 44: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 90 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados estão representados na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados obtidos para a velocidade de 90 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédio	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	23,35 ± 2,56	23,20 ± 2,16	24,07 ± 2,12
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	3,99 ± 0,13	3,99 ± 0,09	3,94 ± 0,42
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	92,60 ± 3,01	92,60 ± 2,08	91,24 ± 9,73
Média do curso do acelerador no máximo [%]	59,40 ± 0,79	75,37 ± 2,22	99,90 ± 0,00
Consumo médio de gasolina em aceleração [l/100km]	16,53 ± 0,38	17,96 ± 0,82	23,36 ± 0,59
Emissão de CO₂ em aceleração devido ao consumo de gasolina [g/km]	382,80 ± 8,80	415,92 ± 18,99	540, 97 ± 13,66
Variação média de SOC [%]	1,04 ± 0,24	1,14 ± 0,11	1,47 ± 0,06
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,71 ± 0,16	0,78 ± 0,07	0,99 ± 0,04

Fruto das maiores velocidades deste perfil, consegue-se valores de aceleração, consumo médio de gasolina em aceleração e a velocidade constante superiores aos restantes ensaios anteriormente abordados. Nota-se a presença da estabilização do patamar de velocidade e aceleração sensivelmente constantes com o curso do acelerador numa percentagem superior. Como referido anteriormente, para os casos que já foram abordados, quanto maior for velocidade atingida num determinado perfil, maior é a capacidade de variação de carga da bateria fruto das acelerações e desacelerações efectuadas num espaço

de tempo maior, o que provoca maiores emissões de CO₂ provenientes da parte eléctrica deste sistema de propulsão. Pode-se considerar que para um perfil de velocidade constante de 90 km/h, o consumo de gasolina por parte do motor de combustão interna ronda os 4 l/100km. Verificou-se que uma condução brusca é prejudicial para o ambiente, pois tanto na aceleração como na própria variação de SOC são produzidas maiores quantidades de CO₂. Numa aceleração brusca é produzida mais 158,17 g/km de CO₂ face aos valores obtidos numa condução suave e também mais 0,28 kg de CO₂ produzidas pelo motor eléctrico. O consumo numa aceleração brusca é 6,8 l/100km, superior a uma aceleração suave.

- **120 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador para ensaios a velocidade de 120 km/h. Verifica-se na Figura 46 relativa ao perfil de velocidades, que o tempo até atingir uma velocidade de 120 km/h entre uma condução suave e brusca está por volta dos 10 segundos, o que demonstra bem a influência de uma aceleração a fundo no tempo de alcance dos 120 km/h.

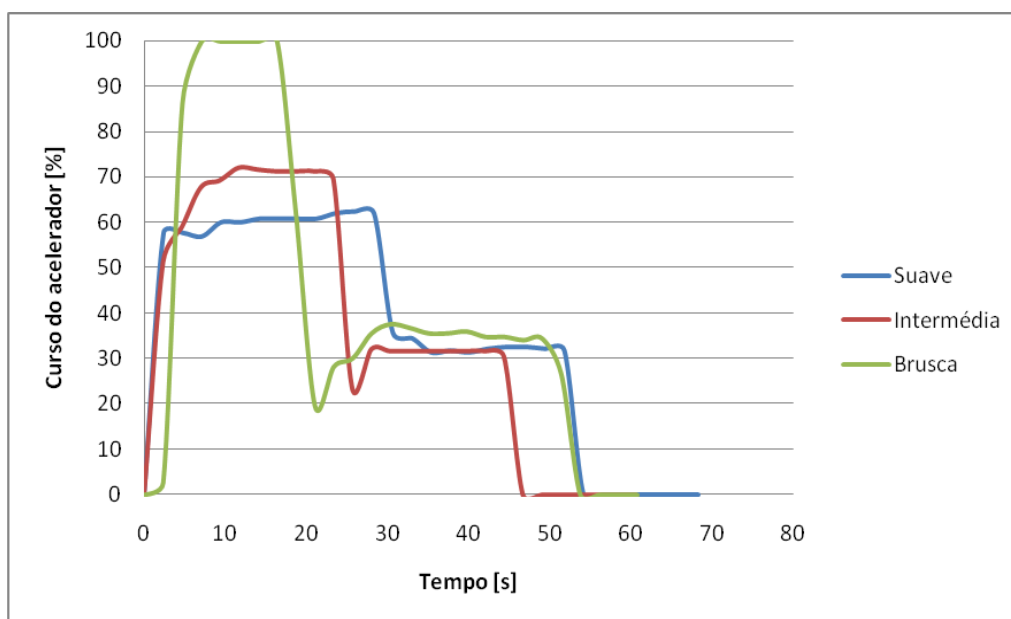


Figura 45: Curso do acelerador para os 3 tipos de condução estudados a 120 km/h

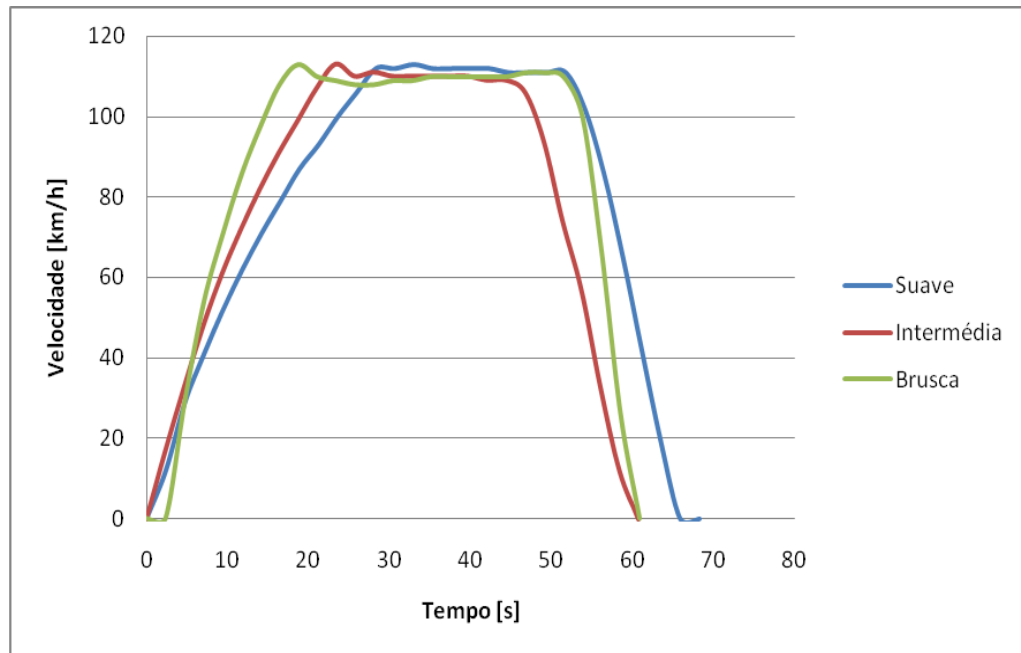


Figura 46: Perfil de velocidade para os 3 tipos de condução estudados a 120 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados estão representados na Tabela 15.

Tabela 15: Resultados obtidos para a velocidade de 120 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédio	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	31,89 ± 0,14	32,00 ± 0,92	32,82 ± 1,89
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	6,14 ± 0,22	6,59 ± 0,51	6,75 ± 0,11
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	142,19 ± 5,09	152,61 ± 11,81	155,85 ± 1,85
Média do curso do acelerador no máximo [%]	67,00 ± 6,65	75,20 ± 3,32	99,90 ± 0,00
Consumo médio de gasolina em aceleração [l/100km]	17,41 ± 0,41	20,35 ± 1,08	24,25 ± 0,54
Emissão de CO₂ em aceleração devido ao consumo de gasolina [g/km]	403,18 ± 9,49	471,26 ± 25,01	559,96 ± 9,49
Variação média de SOC [%]	1,32 ± 0,16	1,52 ± 0,15	2,22 ± 0,13
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,90 ± 0,11	1,03 ± 0,10	1,51 ± 0,09

Em todos os ensaios verifica-se uma influência directa no tipo de condução, relativamente ao consumo na fase de aceleração, consumo em velocidade constante e principalmente na variação do estado de carga da bateria. Com o aumento da velocidade, o sistema híbrido necessitará cada vez mais do auxílio do motor de combustão interna, uma vez que a própria bateria, para além de fornecer energia em maior quantidade ao motor eléctrico terá de receber energia por parte do motor de combustão interna. Fase a isto, denota-se um fluxo de energia em todo o sistema híbrido que tende a aumentar à medida que se efectua ensaios a perfis com maiores velocidades e tipos de condução mais agressivos, pois uma condução brusca, com o acelerador a fundo na fase de aceleração, exigirá que a bateria forneça uma grande quantidade de energia, para além de o motor de

combustão interna trabalhar a uma rotação superior para dispor de potência à transmissão e ao gerador MG1. Denota-se para este perfil que o consumo em aceleração brusca é superior em 6,8 l/100km comparativamente ao tipo suave, produzindo por isso uma quantidade de CO₂ 39,3% superior neste caso. Quanto à quantidade de CO₂ produzida pelo funcionamento do motor eléctrico ao longo do perfil, verificou-se que o tipo de condução tem influência directa neste parâmetro, pois uma condução brusca emite mais 0,61 kg e 0,48 kg do que uma condução suave e intermédia.

4.1.3 Rotundas

Foram realizados ensaios para situações de circulação em rotundas. Estes ensaios consistiam em percorrer alguns metros antes de alcançar uma rotunda, contorná-la com ou sem paragem e posteriormente abrandar o veículo logo após sair da rotunda. Os resultados permitem analisar a influência destas situações nos consumos médios de gasolina e emissões de CO₂ produzidas.

Na Figura 47 estão representados exemplos de perfis de velocidades para as duas situações abordadas.

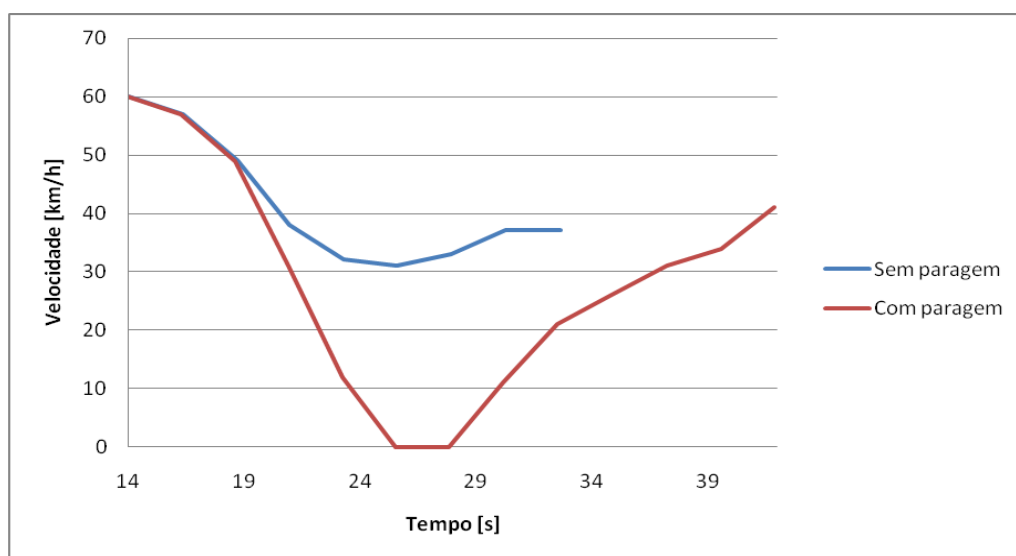


Figura 47: Perfil de velocidade para as duas situações de rotunda abordadas

Através da observação da Figura 47, nota-se que em ambas as situações o veículo iria a uma velocidade de 60 km/h até alcançar a zona de rotunda.

Para o caso de circulação sem paragem, existiu um abrandamento da velocidade de forma a contornar a rotunda e depois uma pequena fase de aceleração à saída desta. No caso da rotunda com paragem, nota-se claramente a presença desta, quando a velocidade atinge o valor nulo durante alguns instantes de tempo. Seguidamente observa-se uma

rampa de aceleração de forma a atingir uma determinada velocidade que permita contornar a rotunda.

A Tabela 16 indica os valores de consumo médio de gasolina, as respectivas emissões de CO₂ produzidas e a variação do estado de carga da bateria obtidos nestas situações.

Tabela 16: Resultados obtidos em situações de rotundas

Designação	Média de acelerador no máximo [%]	Consumo médio de gasolina [l/100km]	Emissões de CO ₂ do consumo de gasolina[g/km]	Variação média de SOC [%]	Emissões de CO ₂ do motor eléctrico [kg]
Rotunda sem paragem	53,45 ± 1,34	6,49±0,63	150, 30 ± 14,59	0,67±0,01	0,46 ± 0,01
Rotunda com paragem	53,65 ± 2,19	7,33±0,82	169,75 ± 18,99	1,17±0,27	0,80 ± 0,18

Ao longo dos ensaios de circulação sem paragem observou-se, que o veículo quando percorria as rotundas o seu consumo de combustível era nulo, visto o carro estar com uma baixa velocidade de circulação e com a bateria HV carregada. Para além disso, existe o processo de travagem regenerativa que aproveita a energia cinética das rodas para transformá-la em energia eléctrica para carregar a bateria durante a fase de abrandamento de velocidade. Através dos resultados da Tabela 16, observou-se claramente a influência da paragem numa rotunda nos consumos de gasolina, isto deve-se ao facto de o veículo nesta situação após a paragem, efectuar uma aceleração com alguma intensidade durante breve instante de tempo de forma a retomar o andamento do veículo, o que faz com que os consumos de gasolina aumentem quando comparados com situações de rotunda sem paragem. Verificou-se numa situação de circulação com paragem na rotunda, que o consumo de gasolina é 12,3% (0,8 l/100km) superior a um caso de circulação sem paragem e que a variação do estado de carga da bateria neste caso, também aumentaria em 0,5% fazendo com que o veículo emita mais 0,34 kg de CO₂ no caso de rotunda com paragem na mesma.

4.1.4 120 – 60 – 120 [km/h]

Pretendia-se simular uma redução de velocidade que ocorre com muita frequência em auto – estrada numa passagem pela faixa de “Via Verde”.

Os resultados obtidos para esta situação podem ser analisados na Tabela 17. De referir que na redução de 120 km/h para 60 km/h, o consumo de combustível é muito

reduzido fruto do aproveitamento da travagem regenerativa e da própria desaceleração efectuada, permitindo que o motor de combustão desenvolva o seu funcionamento a uma velocidade de rotação menor.

Tabela 17: Resultados obtidos para ensaios efectuados em situação de 120 - 60 - 120 [km/h]

Designação	Média de acelerador no máximo [%]	Consumo médio de gasolina [l/100km]	Emissões de CO ₂ do consumo de gasolina[g/km]	Variação média de SOC [%]	Emissões de CO ₂ do motor eléctrico [kg]
120 – 60 – 120 [km/h]	89,90 ± 8,06	7,50±0,43	173,68 ± 9,96	1,43±0,03	0,97 ± 0,02

Na Figura 48, observa-se o perfil de velocidades ao longo deste ensaio. Verifica-se zonas a velocidade constante de 120 km/h, uma redução para uma velocidade aproximada de 60 km/h e a posterior aceleração até recuperar a velocidade inicial.

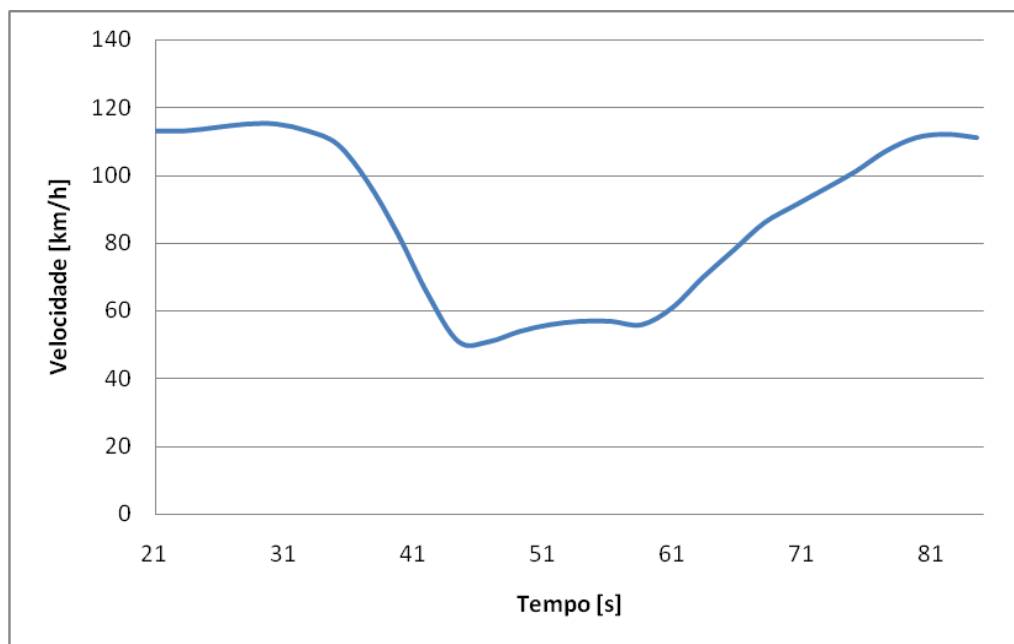


Figura 48: Perfil de velocidades de um ensaio de 120 - 60 -120 [km/h]

Pode-se fazer uma comparação destes resultados obtidos, com os provenientes do perfil de 120 km/h. Considerando que o perfil de 120 km/h representa uma passagem numa portagem convencional, pois possui uma desaceleração até à paragem do veículo e uma aceleração para regressar à velocidade cruzeiro de 120 km/h, pode-se realizar uma comparação nos consumos médios finais de gasolina e emissões de CO₂, de forma a verificar a influência da paragem numa portagem no desempenho energético e ambiental do veículo.

Os resultados obtidos, demonstram que ao efectuar-se uma paragem numa portagem convencional, o veículo independentemente do tipo de condução, consome sempre mais gasolina que uma passagem numa faixa de “Via Verde”. Os resultados demonstram que o consumo de gasolina e as emissões de CO₂ produzidas pelo motor de combustão interna são superiores entre 18,8% (1,4 l/100km), numa condução suave, a 32,4% (2,4 l/100km) numa condução tipicamente brusca. Relativamente às emissões de CO₂ provenientes do funcionamento do motor eléctrico, os resultados evidenciam que são superiores numa portagem convencional entre 6,2% e 55,7% (conforme o tipo de condução). Estes resultados comprovam que a introdução de faixas de “Via Verde” nas auto-estradas é uma boa medida para reduzir os impactes ambientais provocados pelos automóveis no que diz respeito a consumo de combustível e emissões de CO₂, verificando-se esses benefícios tanto nos veículos convencionais [8] como nos veículos híbridos.

4.1.5 Variação de SOC da bateria

Com esta secção pretende-se demonstrar a contribuição do processo de travagem regenerativa deste sistema híbrido, na variação do estado de carga da bateria.

Seleccionou-se um dos ensaios efectuados em estrada, de forma a verificar este processo.

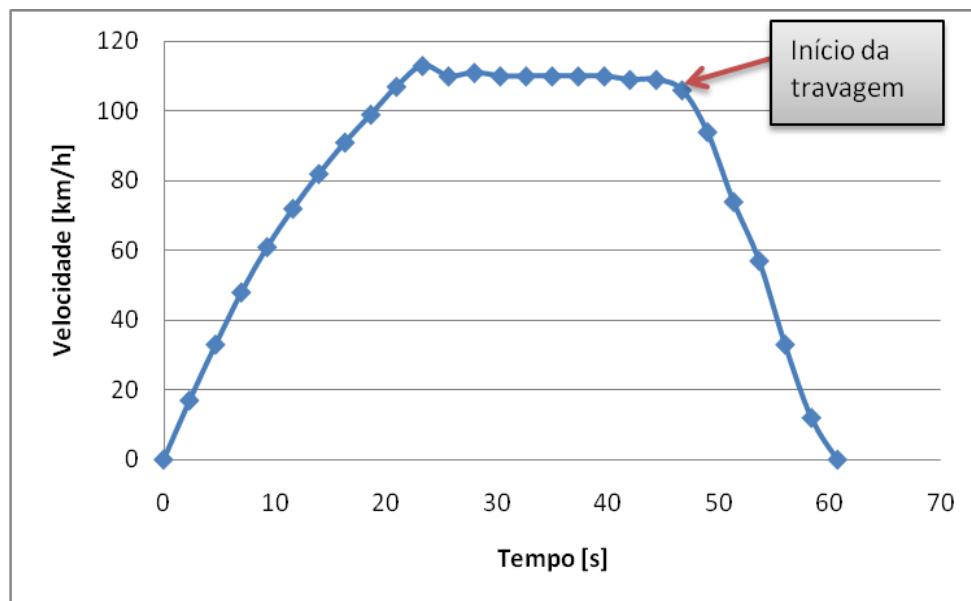


Figura 49: Exemplo de um perfil para uma velocidade de 120 km/h

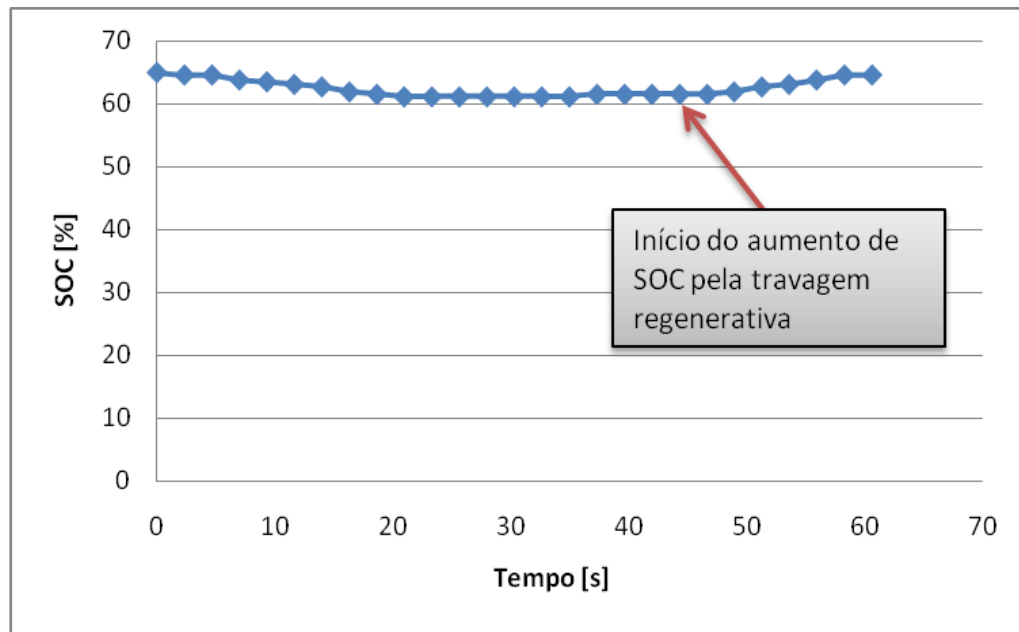


Figura 50: Respectiva variação de SOC para o perfil anterior

Através das figuras anteriores, verifica-se que a partir dos 45 segundos inicia-se a fase de travagem, ocorrendo um aumento de SOC da bateria a partir dessa situação. Este aumento de SOC da bateria demonstra as vantagens associadas ao processo de travagem regenerativa típica destes veículos, ou seja, uma maior eficiência energética, ao eliminar o desperdício de energia ocorrido numa travagem normal de um veículo convencional.

4.2 Monitorização experimental em banco de rolos

Para a monitorização em banco de rolos, irão ser analisados os consumos de gasolina relativos à fase de velocidade constante de cada perfil, uma vez que, pelas próprias características do banco de rolos seria muito difícil simular rampas de aceleração com valores próximos de percentagem de curso de acelerador obtidas na monitorização em estrada. Independentemente disso, foram simulados os três tipos de condução abordados na monitorização em estrada para analisar a influência no estado de carga da bateria total de cada perfil de velocidades.

4.2.1 Ensaios para diferentes perfis de velocidade em banco de rolos

- **Velocidade de 50 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador obtidos para ensaios a velocidade de 50 km/h.

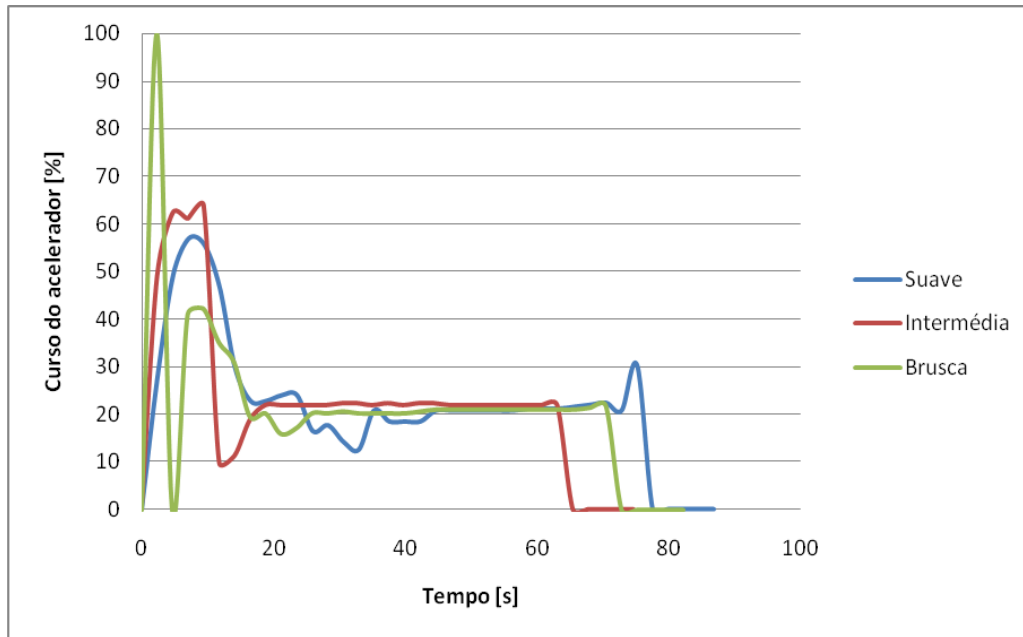


Figura 51: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 50 km/h

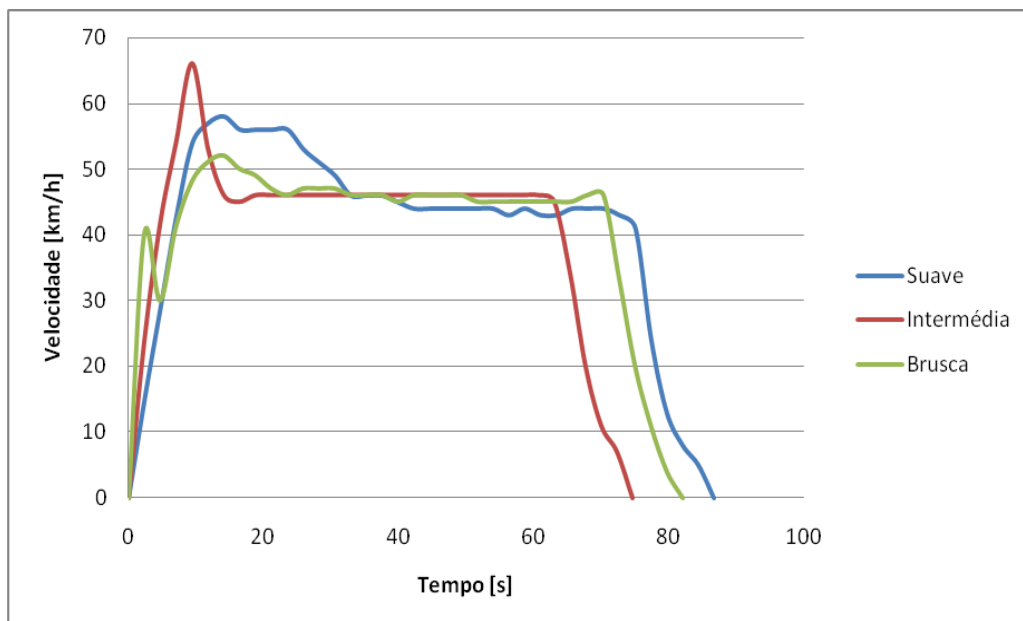


Figura 52: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 50 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados estão representados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 50 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédia	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	$21,97 \pm 0,78$	$21,88 \pm 0,31$	$20,78 \pm 0,47$
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
Variação média de SOC [%]	$2,78 \pm 0,10$	$2,56 \pm 0,42$	$2,30 \pm 0,67$
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	$1,89 \pm 0,07$	$1,74 \pm 0,29$	$1,56 \pm 0,46$

Através dos resultados obtidos, verifica-se que o consumo de gasolina é nulo para a velocidade constante de 50 km/h, este resultado já tinha ocorrido ao longo da monitorização em estrada e portanto a justificação para esta situação é a mesma da monitorização anteriormente analisada. Verificam-se também valores muito elevados (entre 2,3% e 2,8%) para a variação do estado de carga da bateria; isto deve-se ao facto da bateria ter sido carregada ao máximo para estas situações, o que revela que esta possui uma maior capacidade de descarregamento no caso dos ensaios em banco de rolos, para além de após cada rampa de aceleração, se efectuar uma desaceleração superior pois o veículo tinha tendência a fugir da sua trajetória dos rolos neste perfil de 50 km/h.

- **Velocidade de 70 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador obtidos, para ensaios a velocidade de 70 km/h.

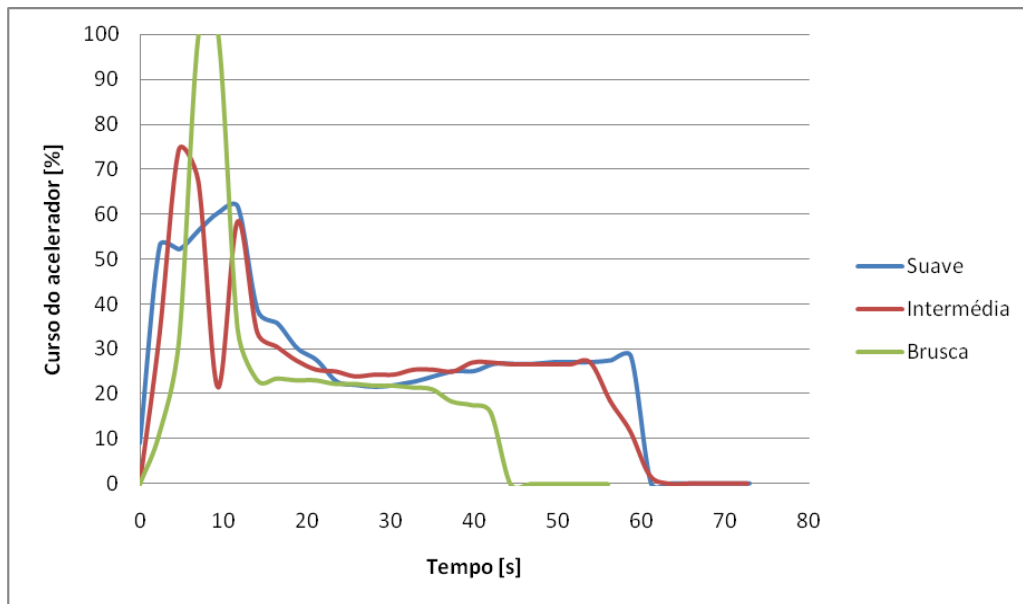


Figura 53: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 70 km/h

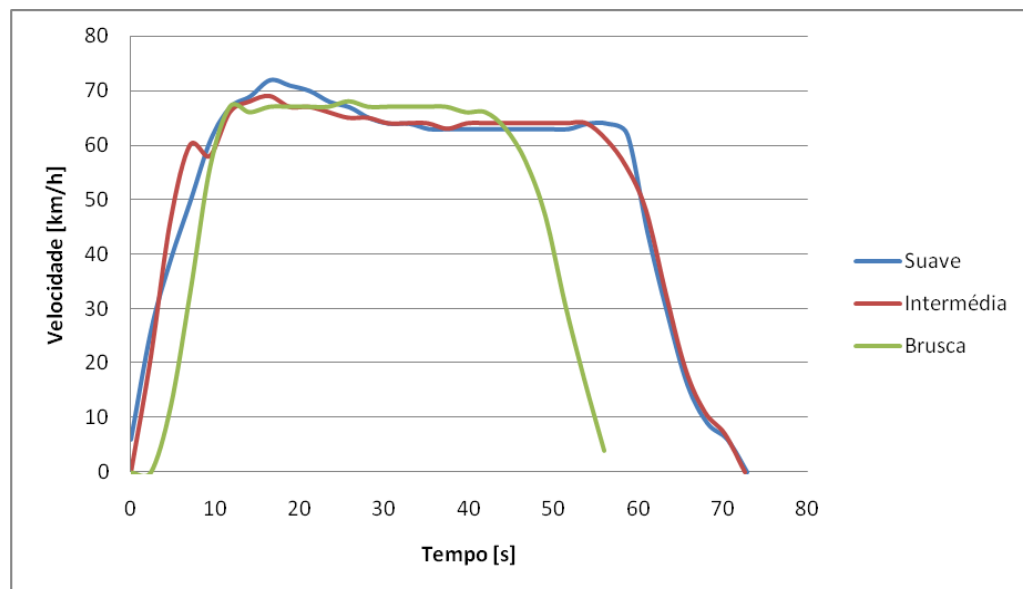


Figura 54: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 70 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados estão representados na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 70 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédia	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	26,30 ± 0,60	25,88 ± 0,49	26,03 ± 0,53
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	5,62 ± 0,08	5,72 ± 0,25	6,20 ± 0,60
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	130,15 ± 1,85	132,46 ± 5,79	143,58 ± 13,89
Variação média de SOC [%]	0,39 ± 0,07	0,50 ± 0,10	0,68 ± 0,05
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,27 ± 0,05	0,34 ± 0,07	0,46 ± 0,03

Verifica-se que a média do curso do acelerador a velocidade constante de 70km/h, é superior ao obtido para o perfil de velocidade de 50 km/h, como já era de esperar, contudo, denota-se que não existe grande influência do tipo de condução na percentagem do curso do acelerador nessa situação, pois os valores do curso a velocidade constante são muito semelhantes nas três situações de condução abordada, isto é explicado pelo facto de o carro não estar sujeito a nenhuma acção exterior, pelo que se consegue menores variabilidades nesse parâmetro.

Nota-se que o consumo de gasolina a velocidade constante aumenta à medida que o tipo de condução se torna mais brusca (0,48 l/100km – 0,58 l/100km), esta constatação está dependente do estado de carga da bateria ao longo dos ensaios, dos tempos a velocidade constante, que foram superiores para uma condução tipicamente brusca e também devido à aceleração inicial que obriga a bateria a dispor de mais energia para a auxiliar o motor de combustão interna nas fases de aceleração, por conseguinte, quando se atinge os instantes iniciais do patamar de velocidade constante o consumo ainda toma valores elevados. Uma condução tipicamente brusca emite mais CO₂ associado ao funcionamento do motor eléctrico em 0,12 kg e 0,19 kg do que uma condução intermédia e suave.

- **Velocidade de 90 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador para ensaios a velocidade de 90 km/h.

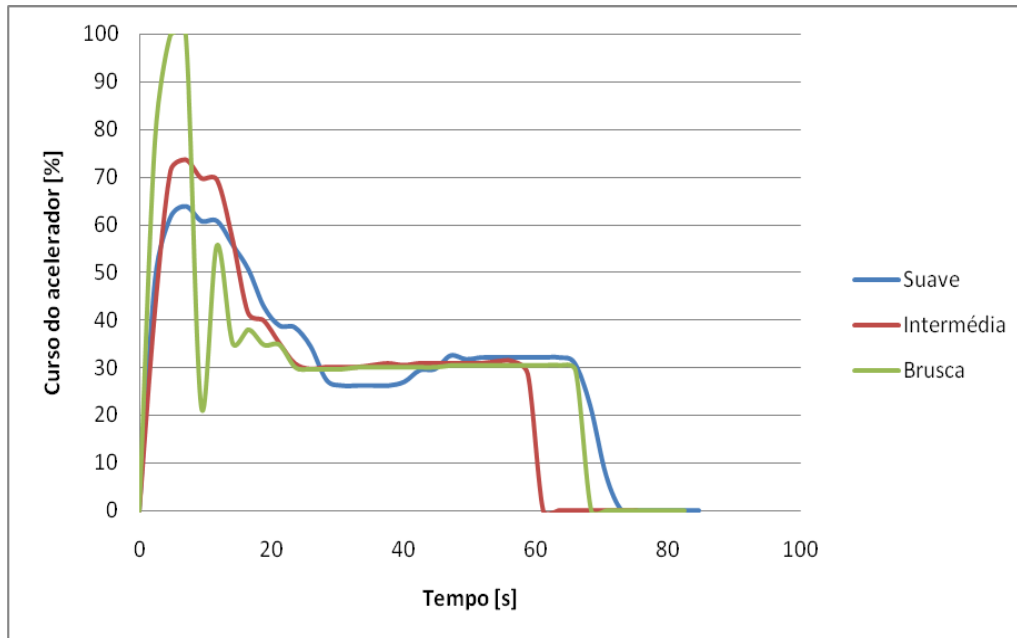


Figura 55: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 90 km/h

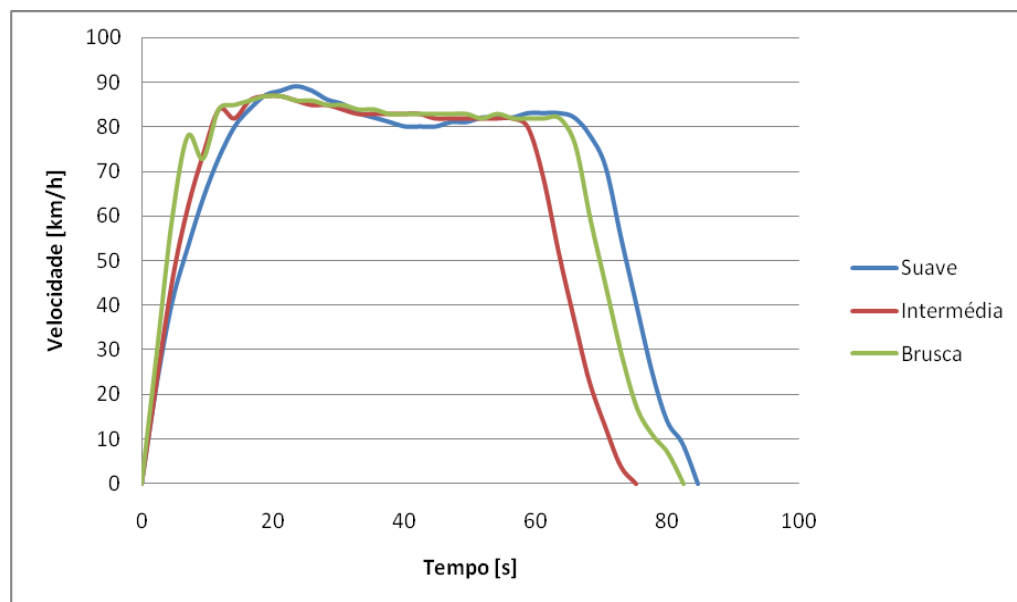


Figura 56: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 90 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados, estão representados na Tabela 20.

Tabela 20: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 90 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédia	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	31,20 ± 0,34	31,30 ± 0,60	31,49 ± 0,27
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	6,59 ± 0,04	7,23 ± 0,02	7,31 ± 0,05
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	152,61 ± 0,93	167,43 ± 0,46	169,28 ± 1,16
Variação média de SOC [%]	0,74 ± 0,03	0,95 ± 0,13	1,24 ± 0,07
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,50 ± 0,02	0,65 ± 0,09	0,84 ± 0,05

Para o perfil de velocidades de 90 km/h, verifica-se uma média de consumo de gasolina para uma velocidade constante, que ronda os 7 l/100km. Denota-se neste perfil de velocidade, uma variação do estado de carga da bateria do automóvel superior entre 0,29% a 0,5% na condução tipicamente brusca face aos outros modos de condução, fruto do processo de aceleração e desaceleração mais acentuados. Os ensaios tendem a decorrer num maior espaço de tempo com o aumento de velocidade, face a isto, existe um maior fluxo de energia na bateria pois esta terá de dispor energia em maior tempo ao motor eléctrico. Para este caso, a condução brusca emitiu mais 0,19 kg e 0,34 kg de CO₂ devido ao funcionamento do motor eléctrico, do que uma condução intermédia e uma suave. Em termos de emissão de CO₂ produzidas pelo motor de combustão interna a velocidade constante, também verificou-se que uma condução suave emite menos 16,67 g/km do que uma condução brusca.

- **Velocidade de 120 km/h**

Nas figuras seguintes estão representados os perfis de velocidade e curso do acelerador para ensaios a velocidade de 120 km/h.

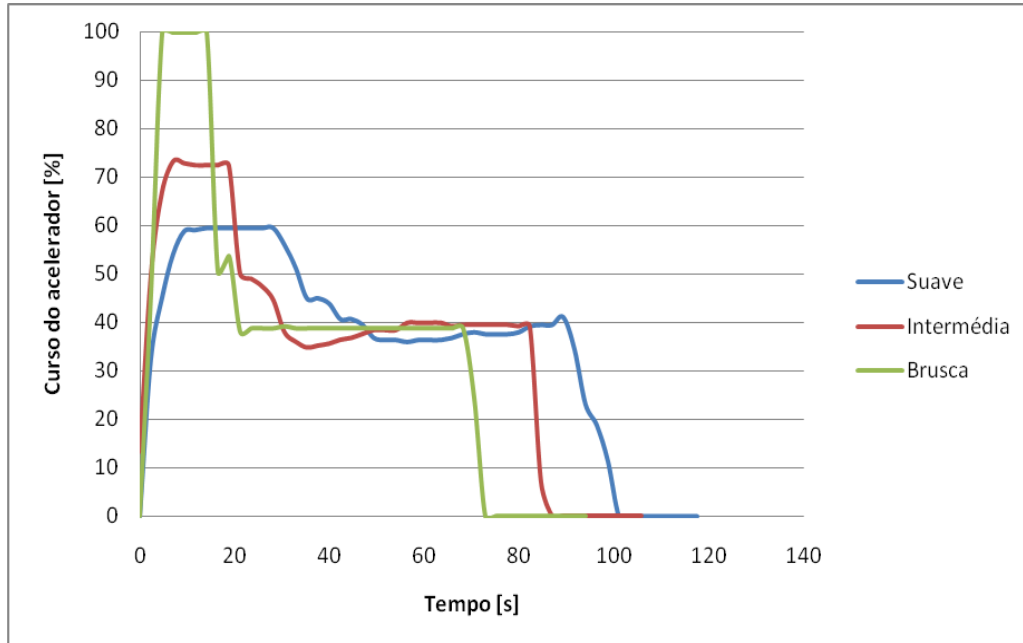


Figura 57: Curso do acelerador na simulação em banco de rolos para 120 km/h

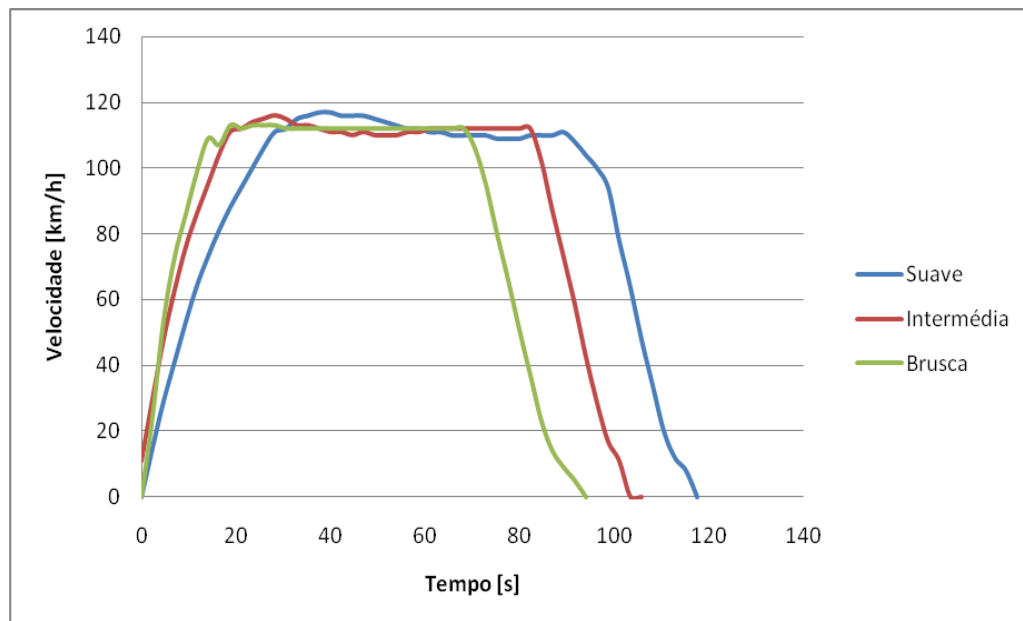


Figura 58: Perfil de velocidade na simulação em banco de rolos para 120 km/h

Os resultados obtidos para os diversos ensaios realizados estão representados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultados obtidos em banco de rolos para a velocidade de 120 km/h e diferentes tipos de condução

Designação	Suave	Intermédio	Brusca
Média do curso do acelerador a velocidade constante [%]	39,43 ± 0,22	39,06 ± 0,13	39,13 ± 0,57
Consumo médio de gasolina a velocidade constante [l/100km]	8,26 ± 0,09	8,31 ± 0,01	8,73 ± 0,52
Emissão de CO₂ a velocidade constante devido ao consumo de gasolina [g/km]	191,28 ± 2,08	192,44 ± 0,23	202,17 ± 12,04
Variação média de SOC [%]	0,85 ± 0,07	0,91 ± 0,02	1,78 ± 0,13
Emissão de CO₂ total associada ao motor eléctrico [kg]	0,58 ± 0,05	0,62 ± 0,01	1,21 ± 0,09

Como pode-se analisar na Tabela 21 relativa aos resultados obtidos para o perfil de velocidade de 120 km/h, consegue-se obter uma média de consumo de gasolina entre os três tipos de condução que ronda os 8,4 l/100km. A variação do estado de carga da bateria para uma condução brusca é muito superior aos obtidos nos restantes perfis e tipos de condução, pelo que terá influência directa nas emissões totais de CO₂ produzidos devido ao funcionamento do motor eléctrico. São produzidas numa condução brusca, mais 0,59 kg e 0,62 kg de CO₂ do que uma condução intermédia e uma suave. Os consumos de gasolina atingem valores superiores aos restantes casos já abordados, o que comprova que à medida que a se aumenta a velocidade, o motor de combustão interna terá que trabalhar a uma rotação cada vez mais elevada, de forma a realizar uma dupla função, ou seja, por um lado transferir maior potência ao eixo de transmissão para movimentar o veículo e por outro lado disponibilizar maiores quantidades de potência para recarregar a bateria, este trabalho de divisão de potência será realizado em conjunto com a engrenagem planetária do sistema híbrido.

Os resultados obtidos para as monitorizações experimentais, serão comparados em detalhe numa secção posterior deste estudo, juntamente com os resultados provenientes da modelação numérica.

4.3 Modelação numérica através do Copert 4®

Pretende-se comparar os consumos e emissões de diversos veículos de forma a verificar a evolução destes parâmetros ao longo de uma gama de velocidades. Os veículos considerados para a realização desta fase foram veículos a gasolina de cilindrada entre 1.4 l e 2.0 l da norma EURO 3, EURO 4, EURO 5 e um veículo híbrido da norma EURO IV da mesma gama de cilindrada dos anteriores.

Devido a limitações do próprio modelo, este não calcula as emissões de PM e de VOC para os veículos híbridos. Contudo é possível analisar o consumo e as emissões de CO e de NO_x.

Relativamente ao veículo a gasolina da norma EURO 5, só é possível a análise do seu consumo de combustível, pois ainda não existem valores para calcular as emissões de poluentes na base de dados deste modelo.

As análises seguintes foram efectuadas, considerando que os veículos já estavam dentro da fase de motor quente.

A Figura 59 representa os resultados da variação do consumo de gasolina ao longo de várias velocidades obtidos por modelação numérica.

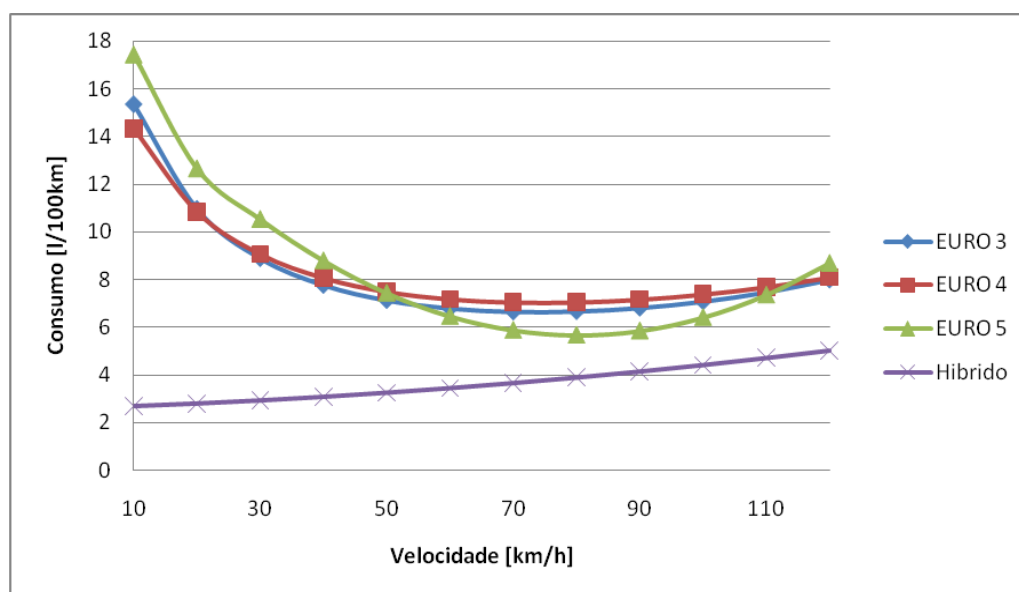


Figura 59: Consumo de gasolina para vários veículos

Através da análise de consumos da Figura 59, pode-se concluir que o veículo híbrido ao longo da gama de velocidades é energeticamente mais económico que os restantes veículos, o que demonstra ser uma boa alternativa para que se comece a reduzir os consumos de combustíveis provenientes do petróleo. Quanto aos veículos a gasolina verifica-se um intervalo de velocidades (60 – 90 km/h) onde os consumos são menores, isto deve-se ao facto de para essas velocidades não ser necessário um esforço tão elevado do motor e dessa forma o perfil de consumo para os veículos a gasolina ter uma

concavidade virada para cima. Relativamente a um veículo da norma Euro 5, o automóvel híbrido é mais económico, por exemplo, para uma velocidade de 120 km/h em cerca de 72%.

Relativamente ao veículo híbrido, pode-se verificar que esta análise só pode ser considerada real, em casos onde a bateria estava completamente descarregada, pois como pode-se analisar na Figura 59, o modelo obteve consumos para velocidades de circulação muito reduzidas (como é exemplo 10 km/h). Como é sabido, estes veículos quando se deslocam a velocidades reduzidas, só o motor eléctrico é que trabalha, estando o motor de combustão interna desligado (salvo situações de carga da bateria insuficiente) verificando-se um consumo de combustível nulo. Através destes resultados não se verificou esta condição, o que leva a concluir que o modelo baseia-se em resultados obtidos em testes, que foram realizados de uma forma independente do estado de carga da bateria. Verificou-se que o perfil de consumo de gasolina para os veículos híbridos é uma recta com uma determinada inclinação, isso ocorre pois, à medida se aumenta a velocidade, o motor eléctrico necessita do auxílio do motor de combustão interna em maior capacidade pois o nível de exigência para manter o carro em circulação é superior.

Na Figura 60 estão representados a variação dos factores de emissão de CO para dois veículos a gasolina e um veículo híbrido. Para as emissões de CO do veículo híbrido foi necessário adicionar um eixo secundário pois os factores de emissão possuíam escalas diferentes.

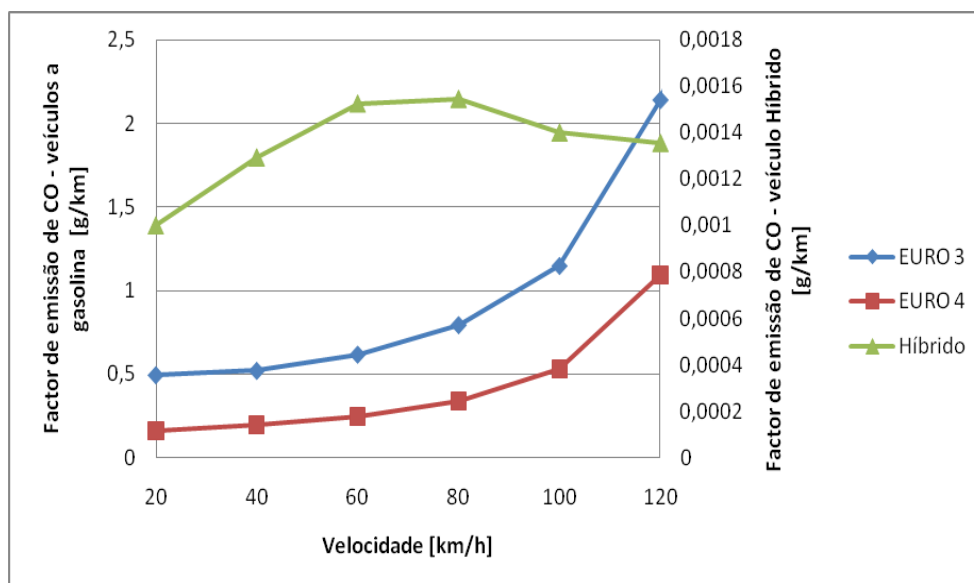


Figura 60: Factores de emissão de CO para os veículos analisados

A Figura 61 representa a variação da emissão de NO_x entre dois veículos a gasolina de diferentes normas e de um veículo híbrido com características semelhantes ao Toyota Prius.

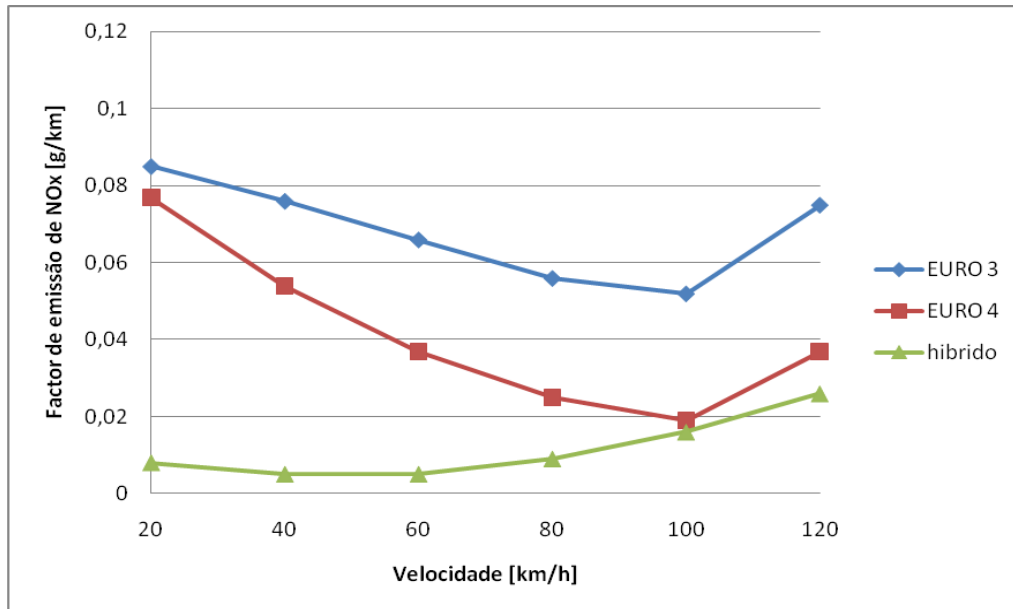


Figura 61: Factor de emissão de NO_x

Analisando os gráficos anteriores, pode-se constatar nitidamente a influência das normas EURO na forma de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos. Tanto para o CO, como para o NO_x a transição de EURO 3 para EURO 4 permitiu reduzir a quantidade destes poluentes, verificando-se também que no caso do CO, quanto maior a velocidade do veículo, maior é a quantidade de gases de escape. O veículo híbrido emite menos NO_x do que um veículo a gasolina Euro 3 entre 0,04 g/km a 0,08 g/km e do que um veículo abrangido pela norma Euro 4 no máximo até 0,07 g/km. Para o caso das emissões de CO no veículo híbrido, verifica-se que estas permanecem numa gama de valores, que são muito inferiores aos constatados nos veículos a gasolina analisados na Figura 60. O veículo híbrido emite menos CO que um veículo a gasolina Euro 3 entre 0,49 g/km a 3,82 g/km. Relativamente a um veículo a gasolina Euro 4, o híbrido emite menos CO numa escala de 0,16 g/km a 1,92 g/km consoante a velocidade. A produção de CO depende directamente da mistura da riqueza (quantidade de oxigénio). Em misturas ricas, não havendo suficiente oxigénio para oxidar todos os átomos de carbono, dar-se-á a produção de CO.

Para o NO_x, constata-se, que a partir de uma determinada velocidade (100km/h) este começa a aumentar a sua quantidade de emissões, isto deve-se ao facto de a temperatura do motor associada ao processo de combustão aumentar, possibilitando condições mais favoráveis para a produção deste poluente. Pois quanto mais quente for a combustão e quanto mais oxigénio houver, maior será a quantidade deste composto formado.

4.4 Comparação das monitorizações realizadas experimentalmente com os resultados da modelação numérica

Com o intuito de se analisar e comparar os resultados obtidos no que respeita a consumo de gasolina entre as duas monitorizações efectuadas e a modelação numérica, fez-se para cada perfil de velocidade, associados às monitorizações experimentais a média de consumo de combustível dos três tipos de condução abordados. Os valores médios de consumo de gasolina obtidos durante as fases deste trabalho estão indicados na Tabela 22.

Tabela 22: Valores de consumo médio de gasolina obtidos para as fases do estudo

Designação	Monitorização em estrada	Monitorização em banco de rolos	Modelação numérica por Copert 4 [®]
50 km/h	0,0	0,0	3,2
70 km/h	3,5	5,8	3,6
90 km/h	3,9	7,0	4,1
120 km/h	6,4	8,4	5,0
Média	3,5	5,3	3,9

Em ambas as monitorizações efectuadas verificou-se um consumo médio de gasolina para 50 km/h nulo, isto deve-se ao facto de os diversos ensaios executados ao longo deste trabalho serem realizados com o estado de carga da bateria cheio ou parcialmente cheio, sendo que o motor eléctrico nestas condições cumpria os requisitos mínimos para efectuar a locomoção do veículo. De outra forma, não se conseguiria obter consumos nulos, caso a bateria estivesse descarregada ou muito próximo desse nível, uma vez que o motor de combustão interna teria de se ligar, de forma a trabalhar para produzir potência necessária para a locomoção do veículo e para realizar o carregamento da bateria. Por esta razão os resultados obtidos na modelação numérica para a velocidade de 50 km/h, não representam valores nulos, uma vez que o modelo baseia-se em resultados obtidos para diversos ensaios realizados de uma forma independente do estado de carga da bateria.

Relativamente aos restantes resultados obtidos de consumo médio de gasolina, verifica-se uma semelhança entre os valores da monitorização em estrada e da modelação numérica, exceptuando o caso do perfil de 50 km/h pelas razões já referidas, o que demonstra a fiabilidade e credibilidade do modelo na forma como simula o consumo médio de combustível para este tipo de veículos relativamente aos resultados que se obtêm em estrada. Em termos de média final de consumo de combustível como indica a Tabela 22, os resultados obtidos por modelação são 11,4% (0,4 l/100 km) superiores aos provenientes da monitorização experimental em estrada e 35,9% (1,4 l/100 km) inferiores

aos resultados do banco de rolos. Verificando-se apenas para a velocidade de 120 km/h, um consumo superior em 28% (1,4 l/100 km) na monitorização em estrada.

Quanto à comparação dos valores de consumo de gasolina entre a monitorização em banco de rolos e a modelação numérica verifica-se que os valores tendem a divergir à medida que se aumenta a velocidade dos ensaios, esta diferença só pode ser explicada pelas diferentes condições de ensaio efectuadas, pois o modelo Copert 4[®] [19] baseia-se em valores obtidos de testes em um banco de rolos específico para simulações deste tipo, e como referi anteriormente, a monitorização efectuada neste trabalho não era realizada num banco de rolos específico para situações de simulação. Os consumos de gasolina ao longo das diferentes velocidades abordadas são superiores na monitorização em banco de rolos entre 61,1% e 70,7% ao longo dos perfis de velocidades relativamente à modelação numérica.

Relativamente aos valores médios obtidos nas monitorizações experimentais para o curso do acelerador ao longo de uma velocidade constante, era de esperar que fossem sensivelmente semelhantes nas monitorizações, devido à estabilização do carro a uma mesma velocidade, independente do tipo de condução, porém, na monitorização em estrada, não se conseguiu obter valores totalmente semelhantes ao longo dos ensaios para cada perfil. Esta variabilidade, justifica-se por diversos factores que influenciam directamente a sensibilidade que o condutor tem para manter o acelerador constante ao longo dos ensaios. Os principais factores são: o trânsito em estrada, devido às situações de ultrapassagens ao veículo sujeito a teste, circulação de automóveis no sentido contrário, que originam ventos laterais que influenciam a locomoção do veículo, cones de vento, provocados por um veículo que esteja à frente do automóvel sujeito aos testes permitem que o condutor não necessite de uma aceleração tão elevada para manter uma velocidade constante, condições atmosféricas diferentes no que respeita a intensidades e direcções do vento nos diferentes dias a que se realizaram os ensaios, bem como a própria degradação do asfalto da estrada que provoca vibrações, influem nos valores obtidos para o curso do acelerador a uma velocidade constante em cada perfil abordado.

Na monitorização em banco de rolos já se verificou que os valores médios obtidos para o curso do acelerador eram bastante próximos, ou seja, não existiu grande variabilidade, uma vez que este tipo de ensaio em banco de rolos, não estava sujeito a influências das condições externas tais, como, vento, ultrapassagens, cones de vento, degradação do asfalto da estrada, vibrações e desníveis do piso, permitindo ao condutor ter uma maior sensibilidade para manter o acelerador constante.

Quanto a uma comparação concreta e geral sobre os valores obtidos nas monitorizações para os diferentes perfis de velocidades, verificou-se uma discrepância no curso médio do acelerador a uma velocidade constante, ou seja, os valores obtidos ao longo da monitorização em banco de rolos são sempre superiores em cerca de 5% a 7%, esta diferença é explicada pelo facto de o carro em banco de rolos não estar sujeito à inércia, uma vez que se encontra parado e preso ao chão por cintas na parte frontal e traseira do veículo, outra causa para esta discrepância, é o facto de o atrito entre os pneus e os rolos serem diferentes do atrito entre a interface pneu – asfalto verificada na monitorização em

estrada. Por fim, as informações introduzidas no sistema de banco de rolos, relativamente à potência de arrasto aerodinâmico podem não corresponder às condições totais de carga que se verificaram na realidade. Como pode-se analisar na Tabela 22, os resultados revelam que a diferença no consumo final de gasolina na monitorização experimental em banco de rolos é superior em 51,4% (1,8 l/100km) relativamente à monitorização em estrada, o que mostra a influência dos factores anteriormente referidos nas monitorizações. Nos diferentes perfis de velocidade o consumo em banco de rolos era sempre superior a uma velocidade constante entre 2 l/100 km e 3,1 l/100 km (excepto para 50 km/h) comparativamente aos resultados obtidos em estrada.

Sobre a variação do estado de carga da bateria ao longo das monitorizações efectuadas, pode-se verificar exceptuando o perfil de velocidade de 50 km/h, que a variação de SOC para a monitorização em estrada é sempre superior à variação obtida na monitorização em banco de rolos entre 0,19% e 0,61% para todos os tipos de condução e perfis de velocidade, o que demonstra algumas diferenças nos ensaios entre as monitorizações. Verificou-se que o veículo em banco de rolos ao não estar sujeito a inércia, efectuava as desacelerações rapidamente, pois perdia a tracção, o que contribui num menor tempo de carregamento da bateria associada ao processo de travagem regenerativa.

5 Conclusão e trabalho futuro

Esta Dissertação de Mestrado consistiu em analisar o desempenho energético e ambiental do Toyota Prius. Face a este objectivo, no presente estudo realizaram-se monitorizações experimentais em estrada e em banco de rolos e também uma modelação numérica através do modelo de emissões Copert 4[®] [17]. As situações abordadas na monitorização em estrada foram: pára – arranca (longos e curtos), circulação em rotundas (com e sem paragem na mesma), perfis de velocidades para três tipos de condução (suave, intermédia e brusca) e por fim um perfil de aceleração e desaceleração, de modo a simular uma passagem pela faixa da “Via Verde”. Em todas as situações foram analisados os consumos de gasolina, variação do estado de carga da bateria e emissões de CO₂ produzidas pelo motor de combustão interna e pelo motor eléctrico. Na monitorização em banco de rolos foram simulados perfis de velocidades de forma a analisar os consumos de gasolina a velocidade constante e verificar a variação do estado de carga da bateria. A modelação numérica baseou-se em analisar os consumos de gasolina e algumas emissões de poluentes para diversos veículos de gama semelhante à do Toyota Prius, de modo a realizar uma comparação entre eles. Os resultados entre as monitorizações experimentais e a modelação foram comparados para situações semelhantes. Pretendeu-se com os resultados obtidos nesta Dissertação compreender com maior precisão o funcionamento dos sistemas híbridos.

Em todas as situações abordadas ao longo deste estudo, verificou-se uma diferença entre a velocidade marcada no velocímetro do automóvel e a sua velocidade real, ou seja, a velocidade indicada no velocímetro do automóvel é sempre superior em cerca de 5 a 10 % relativamente à velocidade real, fruto do erro do velocímetro.

Ao realizar uma análise dos valores obtidos nas monitorizações experimentais efectuadas ao longo deste estudo, conclui-se que para os diversos perfis de velocidade, o tipo de condução tem influência directa nos consumos de gasolina, emissões de CO₂ produzidas e variação do estado de carga da bateria. Esta constatação já era esperada para a fase de aceleração, pois, uma capacidade de aceleração superior origina maiores consumos, uma vez que o motor de combustão interna terá de trabalhar a altas rotações de forma a produzir uma maior potência à transmissão. Entre as monitorizações experimentais efectuadas a diferentes perfis de velocidade, verificaram-se que os consumos de gasolina são sempre superiores em banco de rolos para os três tipos de condução simulados. Exceptuando o perfil de 50 km/h, os consumos de gasolina em banco de rolos são superiores numa condução suave ao longos dos perfis a velocidade constante num intervalo entre 2,1 l/100km a 2,6 l/100km, para uma condução intermédia entre 1,7 l/100km a 3,2 l/100km e por fim numa condução tipicamente brusca entre 1,9 l/100km a 3,5 l/100km comparativamente à monitorização em estrada. Face a isto, observou-se que para uma condução brusca, a amplitude do intervalo de consumos de gasolina é superior aos restantes tipos de condução o que demonstra a existência de uma maior variabilidade de consumos entre os diferentes perfis de velocidades. Verificou-se uma menor diferença nos

consumos de gasolina entre as monitorizações experimentais para o perfil da velocidade de 120 km/h, esta diferença situa-se no intervalo entre 26,1% e 34,5% consoante o tipo de condução abordado, sendo no entanto superior para a monitorização em banco de rolos. Como as emissões de CO₂ são proporcionais ao consumo de gasolina, estas são superiores em banco de rolos de 34,5% a 65,2% numa condução suave, de 26,1% a 81,2% numa condução intermédia e entre 29,3% a 90,4% numa condução brusca relativamente aos ensaios em estrada. Estes valores demonstram igualmente os benefícios ambientais de uma condução realizada de forma suave.

Denota-se que, na maioria dos ensaios realizados nas monitorizações experimentais, o consumo de gasolina aumenta ligeiramente entre 0,5 l/100km e 0,7 l/100km a uma velocidade constante à medida que o tipo de condução se torna mais agressiva, para os diferentes perfis de velocidade. A observação deste facto depende do estado de carga da bateria e do tempo a que o veículo se manteve à velocidade constante nos diversos ensaios realizados para cada perfil, pelo que não se poderá afirmar com toda a precisão que o tipo de condução influi directamente nestes resultados. De qualquer modo, observou-se que, se inicialmente for realizada uma aceleração mais brusca a bateria ficará mais descarregada, pelo que poderá ser necessário em alguns ensaios uma maior capacidade de potência fornecida pelo motor de combustão interna à bateria, pelo que o consumo nesse caso aumentaria. Verificou-se que o tipo de condução influi directamente no estado de carga da bateria, pois em todos os ensaios a diversos perfis de velocidade em banco de rolos, a carga da bateria variava em 0,21% a 0,93% entre uma condução suave e brusca, e em estrada entre 0,28% a 0,90%, observando-se também que o maior fluxo de energia na bateria ocorria para os ensaios de 120 km/h onde o nível de exigência à bateria neste caso é maior, porque os ensaios têm tempos superiores de aceleração, até alcançar uma velocidade cruzeiro e desaceleração.

Entre as duas monitorizações realizadas existe um conjunto de factores que tem influência directa nos resultados obtidos. O veículo durante a monitorização em estrada é afectado por factores externos tais como: condições atmosféricas associadas à velocidade, intensidade e direcção do vento, condições de degradação do asfalto da estrada, que originam vibrações dificultando a capacidade de o condutor manter o curso do acelerador constante e ventos laterais causados pela passagem de automóveis em sentido contrário ou em ultrapassagens. Todos estes factores não ocorrem e nem podem ser simulados em banco de rolos, para além disso, o veículo em banco de rolos não está sujeito a inércia, pois está parado e preso por cintas nas zonas frontais e traseiras, o atrito torna-se num factor que influencia os resultados, pelo facto de este ser diferente entre os rolos e os pneus comparativamente ao ocorrido entre a interface pneu – asfalto, a carga no interior do veículo em termos de número de passageiros poderá alterar o consumo de gasolina obtido e também devido ao banco de rolos utilizado basear-se no cálculo da força de resistência ao avanço, pelo que tem em conta algumas expressões empíricas que podem em alguns casos não realizar uma aproximação com a realidade. Todos estes factores referidos anteriormente são determinantes para justificar as discrepâncias entre os resultados obtidos pelas monitorizações experimentais.

Concluiu-se que os valores obtidos em banco de rolos possuem uma menor variabilidade, isto ocorre devido aos factores anteriormente referidos, mas principalmente por o carro estar parado e não possuir inércia, por o carro não estar sujeito às condições atmosférica e nem a vibrações.

Relativamente aos restantes casos subjacentes a este estudo, numa situação de rotunda concluiu-se que uma paragem efectiva aumenta os consumos médios de gasolina em 12,9%, ou seja, em 0,8 l/100km quando comparado a uma circulação sem paragem na mesma, pelo facto de nesta situação o carro necessitar de efectuar uma aceleração de forma a contornar a rotunda, obrigando a que o motor de combustão interna trabalhe para auxiliar o movimento do carro. Da mesma forma, verificou-se uma maior variação do estado de carga da bateria (0,5%) devido à existência de uma desaceleração até à paragem do veículo e também pela aceleração de modo a recuperar uma velocidade necessária para a circulação da rotunda, isto faz com que as emissões de CO₂ associadas ao funcionamento do motor eléctrico sejam superiores em 73,9% numa rotunda com paragem na mesma.

Entre os dois tipos de pára-arranca realizados, consegue-se obter maiores velocidades (3,6 km/h) e acelerações (0,9%) durante um pára-arranca longo, devido à distância percorrida. Face a isto, as maiores acelerações e desacelerações originam um fluxo de energia superior em 0,17% na bateria, pelo que, as emissões de CO₂ produzidas num pára – arranca longo são superiores em 54,5% (120 g) relativamente a um pára – arranca curto.

Verificou-se que uma passagem pela faixa da “Via Verde” reduz o consumo médio de gasolina comparativamente a uma portagem convencional, num intervalo de 1,4 l/100km a 2,4 l/100km entre uma condução suave e brusca, concluiu-se por isso que a introdução de faixas de “Via Verde” nas auto-estradas é uma medida benéfica para reduzir o impacte ambiental provocado pelos automóveis. Do mesmo modo, as emissões de CO₂ produzidas pelo funcionamento do motor de combustão interna são inferiores em 18,8% a 32,4% consoante a condução se torna mais agressiva.

Como foi referido anteriormente, os resultados obtidos pela modelação numérica baseiam-se sobretudo na comparação de consumos de gasolina entre diversos veículos da mesma gama. Analisou-se um veículo de tecnologia híbrida e veículos a gasolina de norma Euro 3, Euro 4 e Euro 5. Os resultados obtidos revelam que existe uma semelhança com os resultados provenientes da monitorização em estrada na análise do veículo híbrido, sendo no entanto, a média de consumo final de gasolina superior em 11,4% (0,4 l/100km) na modelação numérica. O software de modelação é uma ferramenta essencial neste tipo de investigação, pois ao obterem-se valores semelhantes aos da monitorização em estrada, permite, caso seja necessário, efectuar-se este tipo de investigações por esta via, eliminando custos associados às medições experimentais, tais como a aquisição de equipamentos de medição OBD, banco de rolos, veículos, entre outros. Verificou-se uma discrepância nos consumos médios de gasolina entre a modelação numérica e a monitorização em banco de rolos, sendo os consumos superiores em 35,9% (1,4 l/100km) nos ensaios em banco de rolos. Esta discrepância ocorre pelo facto de o modelo basear-se em resultados obtidos num banco de rolos específico, contrariamente ao sucedido na

monitorização que foi realizada em um banco de rolos que não é totalmente específico para este tipo de investigação. Observou-se entre os veículos a gasolina testados na modelação, que a passagem da norma Euro 3 para a Euro 4 permitiu uma redução das emissões de CO entre 0,33 g/km para uma velocidade de 20 km/h a 1,90 g/km a 140 km/h. Facto semelhante para as emissões de NOx, que reduziram entre 0,008 g/km para 20km/h a 0,032 g/km a 140 km/h com a actualização da legislação.

Relativamente à comparação dos resultados obtidos pelas monitorizações e os divulgados no catálogo, verifica-se que não se pode comparar os consumos de gasolina obtidos neste estudo para o meio urbano (50km/h), uma vez que foram obtidos com a carga da bateria cheia, o que originava consumos de gasolina nulos para esta velocidade. Todavia, no meio extra-urbano, em ambas as monitorizações e na modelação numérica obtiveram-se consumos médios de gasolina superiores comparativamente aos anunciados no catálogo do fabricante. O consumo de gasolina é superior relativamente ao catalogado no máximo em 2,2 l/100km na monitorização em estrada, 4,2 l/100km na monitorização em banco de rolos e 0,8 l/100km na modelação numérica. Estas diferenças justificam-se pelo facto de os ensaios efectuados pelo fabricante seguirem a legislação europeia que difere do procedimento efectuado ao longo dos ensaios realizados neste estudo. Diferenças em termos de tempo total de ensaio, sequências de travagens, recuperações e acelerações, bem como percurso e número de quilómetros percorridos.

Por limitações de tempo de realização desta Dissertação de Mestrado, não foi possível realizar algumas ideias que seriam interessantes e que complementariam ainda mais o estudo. Algumas sugestões para trabalho futuro foram surgindo ao longo da realização experimental deste estudo, e enumeram-se de seguida:

- Realizar mais ensaios sobre as situações abordadas ao longo deste estudo, de forma a diminuir algumas variabilidades que se verificaram, principalmente na monitorização em estrada.
- Testar mais condições de condução com diferentes condutores para analisar a influência desta situação nos resultados obtidos.
- Utilizar um medidor portátil de emissões de poluentes, de forma a verificar a quantidade de poluentes que esta nova propulsão híbrida emite para o ambiente, nas diversas situações estudadas e efectuar uma comparação com os valores de veículos convencionais a gasolina.
- Deverá, ainda, ser testada a influência de diferentes cargas do automóvel nas situações abordadas ao longo deste estudo na monitorização experimental em estrada, ou seja, ao longo dos ensaios efectuados, o automóvel possuía sempre duas pessoas no seu interior, era interessante verificar os resultados por exemplo, com o carro na sua lotação máxima (5 pessoas).
- Testar o carro em situações de estrada com uma determinada percentagem de declive, para estudar o comportamento do motor eléctrico, a variação de carga da bateria, bem como a resposta do motor de combustão interna nessa situação.

- Ensaiar o veículo para um perfil de velocidade de 50 km/h em situações de bateria descarregada, de modo a verificar o consumo de gasolina quando comparado a situações de bateria carregada.
- Efectuar novos ensaios com o ar condicionado ligado, de forma a analisar a influência que este tem no consumo de combustível de um veículo híbrido.
- Realizar ensaios semelhantes para um veículo a gasolina com características aproximadas das do Toyota Prius, em estrada e em banco de rolos, para efectuar-se uma comparação efectiva entre as diferentes propulsões, principalmente para analisar os consumos em aceleração e em velocidade constante.

6 Bibliografia

1. Agência Europeia do Ambiente, 1999. “*Relatório do Estado do Ambiente 1999 – Transportes*”, <http://www.ambiente.pt/rea99/docs/42transp.pdf>, consultado em 15 de Março de 2008.
2. Ayers, C. W., Hsu J. S., Marlino, L. D., Miller, C. W. , G. W. Ott, Jr., Oland, C. B., 2004. “*Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System Interim Report*”, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
3. Bitsche, O., Gutmann, G., 2001, “*Systems for hybrid cars*”, Journal of Power Sources 127, Elsevier, pp. 8–15.
4. Bosch, R., 2007. “*Automotive Handbook*”, 7ª Edição: Edições Wiley, pp. 744 – 751.
5. Bradley, T. H., Frank, A. A., 2007, “*Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles*”, Ecological Economics, Elsevier, Volume 12 (7).
6. *Catálogo Toyota Prius*, 2008, <http://www.toyota.pt>, consultado em 10 de Fevereiro de 2008.
7. Coelho, M. C., Farias, T. L., Rouphail, N. M., 2006, “*Effect of Roundabout Operations on Pollutant Emissions*”, Transportation Research Part D: Transport and Environment (Elsevier), Volume 11 (5), pp. 333-343.
8. Coelho, M. C., Farias, T. L., Rouphail, N. M., 2005, “*Measuring and Modeling Emissions Effects for Toll Facilities*”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1941, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 136-144.
9. Coelho, M. C., Farias, T. L., Rouphail, N. M., 2005, “*Impact of Speed Control Traffic Signals on Pollutant Emissions*”, Transportation Research Part D: Transport and Environment (Elsevier), Volume 10 (4), pp. 323-340.
10. Coelho, M. C., Farias, T. L., Rouphail, N. M., 2005, “*A Methodology for Modelling and Measuring Traffic and Emission Performance of Speed Control Traffic Signals*”, Atmospheric Environment (Elsevier), Volume 39 (13), pp. 2367-2376, 2005.
11. “*Diagnosis Tester Intelligent Tester II*”, Operator’s Manual, 2008, <http://www.efichip.com/index.php?1691030893>, consultado em 1 de Março de 2008.

12. Direcção do Ambiente, 2008, Portaria n.º 125/89 de 18 de Fevereiro; “*Características da gasolina*”, <http://www.diramb.gov.pt>, consultado em 19 de Fevereiro de 2008.
13. Direcção Geral de Energia e Geologia, 2008, <http://www.dgge.pt>, consultado em 20 de Fevereiro de 2008.
14. EEA, 2004, “*Transportes e ambiente na Europa*”, Agência Europeia do Ambiente, http://reports.eea.europa.eu/briefing_2004_3/pt/PT_Briefing_No_03_web.pdf, consultado em 15 de Março de 2008.
15. Farias, T., 2007, “*Um contributo para o debate sobre sustentabilidade*”, Instituto Superior Técnico.
http://www.abae.pt/ECOXXI/eco21_2006_07/ECO_XXI_Tiago_Farias.pdf p - 14, consultado em 12 de Março de 2008.
16. Filipe, L. N., 2007, “*Estudo de impacte ambiental (EIA) e as infra – estruturas de transportes*”, Instituto Superior Técnico,
https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/57845/1/Aula_Pratica_1_impactesAmbientais.ppt, consultado em 12 de Março de 2008.
17. Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Ntziachristos, L. & Samaras, Z., 2006 , “*COPERT IV: Computer programme to calculate emissions from road transport*”, User’s Manual, <http://lat.eng.auth.gr/copert/>, consultado em 12 de Março de 2008.
18. Haan, P., Mueller, M.G., Peters, A., 2006, “*Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers*”, Ecological Economics, Volume 58, Elsevier, pp. 592– 605.
19. Hermance, D., 2004, “*2004 Toyota Prius Technical Intro*”, Toyota Technical Center, USA.
20. How stuff Works, 2008, <http://www.howstuffworks.com/>, consultado em 3 de Março de 2008.
21. Lave, Lester, B., Maclean, Heather, L., 2002, “*An environmental – economic evaluation of hybrid vehicles: Toyota’s Prius vs. its convention internal combustion engine Corolla*”, Transportation Research Part D, Volume 7, Pergamon, pp. 155 – 162.
22. Lipman, T.E., Delucchi, M.A., 2006, “*A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles*”, Transportation Research Part D, Volume 11, Elsevier, pp. 115–132.
23. Lopes, P. A., 2008, “*Uma verdade (in) conveniente*”. Revista Autohoje de 25 de Janeiro de 2008, pp. 34-35.

24. MAHA Maschinenbau Haldenwang, “*Banco de Potencia LPS 3000 para vehiculos ligeros*”, Manual del Usuario D1 0523BA1— E03,
http://www.maha.de/esn/files/BA_LPS3000_E.pdf, consultado em 28 de Abril de 2008.
25. Manzie, C., Watson, H., Halgamuge, S., 2007, “*Fuel economy improvements for urban driving: Hybrid vs. intelligent vehicles*”, Transportation Research Part C, Volume 15, Elsevier, pp. 1–16.
26. Martins, J., 2006, “*Motores de combustão interna*”, 2º Edição, Publindústria.
27. Michelin, <http://energysaver.michelin.pt/>, consultado em 12 de Maio de 2008.
28. Nabais, J., 2005, “*Sector dos transportes*”, 1º Edição, ETEP.
29. National Energy Foundation, 2008,
<http://www.nef.org.uk/greencompany/co2calculator.htm>, consultado em 4 de Maio de 2008.
30. Naim, A. Kheir, Mutasim A. Salman, Niels J. Schouten, 2004, “*Emissions and fuel economy trade-off for hybrid vehicles using fuzzy logic*”, Mathematics and Computers in Simulation, Volume 66, Elsevier, pp.155–172.
31. Nam, Edward K., Mitcham, Arvon, 2005, “*Dynamometer and On-board Emissions Testing of the Honda Insight and Toyota Prius*”, United States Environmental Protection Agency.
32. Neves, L., 2007, “*Imposto Automóvel: As diferenças a partir de Janeiro*”,
<http://www.autoportal.iol.pt/noticia.php?id=891832>, consultado em 15 de Março de 2008.
33. Prius Repair Manual, 2003, 1, Pub. No. RM1075U1, Toyota Motor Corporation.
34. Prokhorov, D. V., 2008, “*Toyota Prius HEV neurocontrol and diagnostics*”, Neural Networks, Elsevier.
35. Ribeiro, C., Costa, H., 2007, “*Tecnologia Híbrida – Formação Técnica*”, Toyota Caetano Portugal.
36. Riley, R. Q., “*Electric and Hybrid Vehicles, an Overview of the Benefits, Challenges, and Technologies*”, Elsevier.
37. Stern review, 2008, http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm, consultado em 4 de Março de 2008.

38. Stewart, P., Gladwin, D., Stewart, J., Cowley, R., 2007, “*Generator voltage stabilisation for series-hybrid electric vehicles*”, ISA Transactions.
39. Taniguchi, A., Fujioka, N., Ikoma, M., Ohta, A., 2001, “*Development of nickel/metal-hydrate batteries for EVs and HEVs*”, Journal of Power Sources 100, Elsevier, pp.117–124.
40. Toyota, 2004, “*2004 Prius complete version*”, <http://www.toyota-media.com>, consultado em 22 de Fevereiro de 2008.
41. Valentim, Carlos, 2006, “*Sistemas híbridos nas marcas Toyota e Lexus*”, http://www.dem.isep.ipp.pt/data/events/seminarios/2006-12-05_Motores_Hibridos_Eng_Carlos_Valentim.pdf, consultado em 23 de Fevereiro de 2008.

7 Anexos

7.1 Anexos I

Óxido de azoto (NO_x) – tem origem no processo de combustão, ocorre devido à reacção do O₂ e N₂ do ar sob a acção das altas temperaturas do motor. Poderá ser controlado diminuindo a temperatura da combustão e também por método de pós – tratamento dos gases de escape.

Hidrocarbonetos (HC) – têm origem na quantidade de combustível que não é queimado e também por resíduos do óleo. Poderá ser controlado ou eliminado se for realizada uma combustão eficaz, ou seja, utilização de um combustível com elevada qualidade e um pós – tratamento catalítico.

Monóxido de carbono (CO) – tem origem numa quantidade de oxigénio insuficiente dando origem a uma combustão incompleta, especialmente em motores com mistura rica ($\lambda > 1$). O controlo é feito com a utilização de misturas pobres e por tratamento pós – catalítico.

Partículas (PM) – ocorrem devido a combustão incompleta. Podem ser controlados numa optimização do processo de combustão, combustível de melhor qualidade, sistema de injeção de alta pressão, pós – tratamento por filtro de partículas e por oxidação.

Tabela 23: Normas de Emissões (na UE) para veículos ligeiros [g/km]

Norma	Ano	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
Diesel						
Euro 3	2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
Euro 4	2005	0,5	-	0,3	0,25	0,0025
Gasolina						
Euro 3	2000	2,3	0,2	-	0,15	-
Euro 4	2005	1	0,1	-	0,08	-

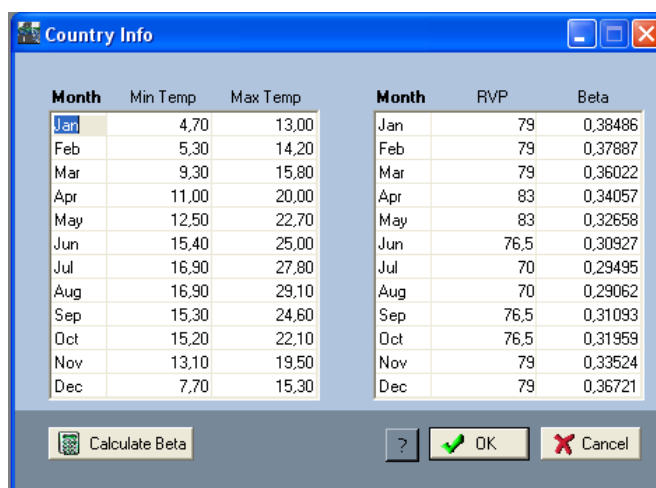
7.2 Anexos II

7.2.1 Copert 4

Tabela 24: Valores de consumo de combustível em [g/km] para diferentes modos de propulsão de acordo com a velocidade.

Velocidade [km/h]	EURO 3 [l/100km]	EURO 4 [l/100km]	EURO 5 [l/100km]	HIBRIDO [l/100km]
10	15,3	14,3	17,4	2,6
20	10,9	10,8	12,6	2,7
30	8,8	9,0	10,5	2,9
40	7,7	8,0	8,7	3,0
50	7,1	7,4	7,4	3,2
60	6,7	7,1	6,4	3,4
70	6,6	7,0	5,8	3,6
80	6,6	7,0	5,6	3,8
90	6,8	7,1	5,8	4,1
100	7,0	7,3	6,4	4,4
110	7,4	7,6	7,3	4,6
120	7,9	8,0	8,6	5,0

Os valores utilizados para o RVP para cada mês, estão na figura abaixo:



Month	Min Temp	Max Temp	Month	RVP	Beta
Jan	4,70	13,00	Jan	79	0,38486
Feb	5,30	14,20	Feb	79	0,37887
Mar	9,30	15,80	Mar	79	0,36022
Apr	11,00	20,00	Apr	83	0,34057
May	12,50	22,70	May	83	0,32658
Jun	15,40	25,00	Jun	76,5	0,30927
Jul	16,90	27,80	Jul	70	0,29495
Aug	16,90	29,10	Aug	70	0,29062
Sep	15,30	24,60	Sep	76,5	0,31093
Oct	15,20	22,10	Oct	76,5	0,31959
Nov	13,10	19,50	Nov	79	0,33524
Dec	7,70	15,30	Dec	79	0,36721

Buttons: Calculate Beta, ? OK Cancel

Figura 62: RVP/Beta.

Tabela 25: Factores de emissão a quente para veículos a gasolina [17]

Pollutant	Emission Standard	Engine capacity	Speed Range (km/h)	R ²	a	b	c	d	e
CO	Euro 1	All capacities	10-130	0.87	1.12E+01	1.29E-01	-1.02E-01	-9.47E-04	6.77E-04
	Euro 2	All capacities	10-130	0.97	6.05E+01	3.50E+00	1.52E-01	-2.52E-02	-1.68E-04
	Euro 3	All capacities	10-130	0.97	7.17E+01	3.54E+01	1.14E+01	-2.48E-01	
	Euro 4	All capacities	10-130	0.93	1.36E-01	-1.41E-02	-8.91E-04	4.99E-05	
HC	Euro 1	All capacities	10-130	0.82	1.35E+00	1.78E-01	-6.77E-03	-1.27E-03	
	Euro 2	All capacities	10-130	0.95	4.11E+06	1.66E+06	-1.45E+04	-1.03E+04	
	Euro 3	All capacities	10-130	0.88	5.57E-02	3.65E-02	-1.10E-03	-1.88E-04	1.25E-05
	Euro 4	All capacities	10-130	0.10	1.18E-02		-3.47E-05		8.84E-07
NO _x	Euro 1	All capacities	10-130	0.86	5.25E-01		-1.00E-02		9.36E-05
	Euro 2	All capacities	10-130	0.52	2.84E-01	-2.34E-02	-8.69E-03	4.43E-04	1.14E-04
	Euro 3	All capacities	10-130	0.80	9.29E-02	-1.22E-02	-1.49E-03	3.97E-05	6.53E-06
	Euro 4	All capacities	10-130	0.71	1.06E-01		-1.58E-03		7.10E-06
FC	Euro 1	<1.4	10-130	0.99	1.91E+02	1.29E-01	1.17E+00	-7.23E-04	
		1.4-2.0	10-130	0.98	1.99E+02	8.92E-02	3.46E-01	-5.38E-04	
		>2.0	10-130	0.93	2.30E+02	6.94E-02	-4.26E-02	-4.46E-04	
	Euro 2	<1.4	10-130	0.99	2.08E+02	1.07E-01	-5.65E-01	-5.00E-04	1.43E-02
		1.4-2.0	10-130	0.98	3.47E+02	2.17E-01	2.73E+00	-9.11E-04	4.28E-03
		>2.0	10-130	0.98	1.54E+03	8.69E-01	1.91E+01	-3.63E-03	
	Euro 3	<1.4	10-130	0.99	1.70E+02	9.28E-02	4.18E-01	-4.52E-04	4.99E-03
		1.4-2.0	10-130	0.99	2.17E+02	9.60E-02	2.53E-01	-4.21E-04	9.65E-03
		>2.0	10-130	0.99	2.53E+02	9.02E-02	5.02E-01	-4.69E-04	
	Euro 4	<1.4	10-130	0.95	1.36E+02	2.60E-02	-1.65E+00	2.28E-04	3.12E-02
		1.4-2.0	10-130	0.96	1.74E+02	6.85E-02	3.64E-01	-2.47E-04	8.74E-03
		>2.0	10-130	0.98	2.85E+02	7.28E-02	-1.37E-01	-4.16E-04	

Tabela 26: Emissão de partículas para veículos a gasolina [17]

Pollutant	Emission Standard	Fuel specs (EN590)	Urban [g/km]	Rural [g/km]	Highway [g/km]
PM	Euro 1 & 2	2000-2009	3.22E-03	1.84E-03	1.90E-03
	Euro 3 & 4	2000-2009	1.28E-03	8.36E-04	1.19E-03
	Euro 3 GDI	2000-2009	6.60E-03	2.96E-03	6.95E-03

Tabela 27: Factores de emissão para veículos híbridos [17]

Pollutant	Emission Standard	Engine capacity	Speed Range (km/h)	R ²	a	c	e
CO	Euro 4	All capacities	10-130	1	1.95E-04	3.80E-05	-2.64E-07
HC		All capacities	10-130	1	5.50E-04	-8.54E-06	4.94E-08
NO _x		All capacities	10-130	1	1.48E-02	-4.20E-04	4.29E-06
FC		All capacities	10-130	1	1.94E+01	6.06E-02	7.54E-04

7.2.2 Sistema OBD

Tabela 28: Características do aparelho de medição [11].

Intelligent Tester II Specifications		
Item		Specifications
Main unit dimensions		145mm (W) x 223mm (H) x 71mm (D)
Main unit weight		Without oscilloscope cartridge: about 1200g With oscilloscope cartridge: about 1380g
Main unit power supply voltage		DC10 – 32V
Power consumption		Without oscilloscope cartridge: Normally 5.5W (12VDC), charging 8.5W (12VDC) With oscilloscope cartridge: Normally 7W (12VDC), charging 10W (12VDC)
Usage temperature		0 – 45°C
Storage temperature		–10 – 60°C
OS		Windows CE (DENSO original HPC type), English OS
CPU		Hitachi SH7727 128 MHz
RAM		32MB (can be expanded to 64MB with optional expansion memory card)
ROM		Flash: 32 MB, internal CF: 32MB
Liquid crystal		5.7-inch color STN (320x240) transparent type 256 colors Adjustable brightness and contrast
Touch panel		Input: Finger Surface strength: Pencil lead hardness 2Hmin. Operating force: 80g max.
Keys		Four (up, down, and two function keys)
Internal clock		Time stamp (backed up by internal battery)
PC communications	PC card slot	CF x 1ch (supports CF standard Type I and Type II)
	USB	Host: 1 channel Function: 1 channel
	Serial	1ch (RS-232C)
Vehicle communications	CAN	1ch (Fast CAN)
	ISO9141	1 channel (standard 12V specifications)
Backup power supply		Lithium ion battery 7.4V 1000mAh
Charge time (at normal temperature)		5 hours (time until full charge)
Battery usage time (at normal temperature)		For normal operation: about 1 hour (with expansion: about 80 minutes)
Regulation		CE

Voltage Measurement Function Specifications

Item	Specifications
Maximum sampling rate	250s / sec
Number of channels	1ch
Voltage (vertical axis) range	1V / div, 2V / div, 5V / div
Time (horizontal axis) range	100ms / div, 200ms / div – 10s / div

Oscilloscope Function Specifications

Item	Specifications
Maximum sampling rate	500ks / sec
Number of channels	2ch
Sweep mode	Auto, Normal, Single
Voltage (vertical axis) range	100mV / div, 200mV / div, 500mV / div – 10V / div
Time (horizontal axis) range	50 μ s / div, 100 μ s / div, 200 μ s / div – 10s / div (200 ms and higher is roll mode)
Trigger position	10%, 50%, and 90% of display surface
Battery usage time (at normal temperature)	0.8 hours

7.3 Pára-arranca curto

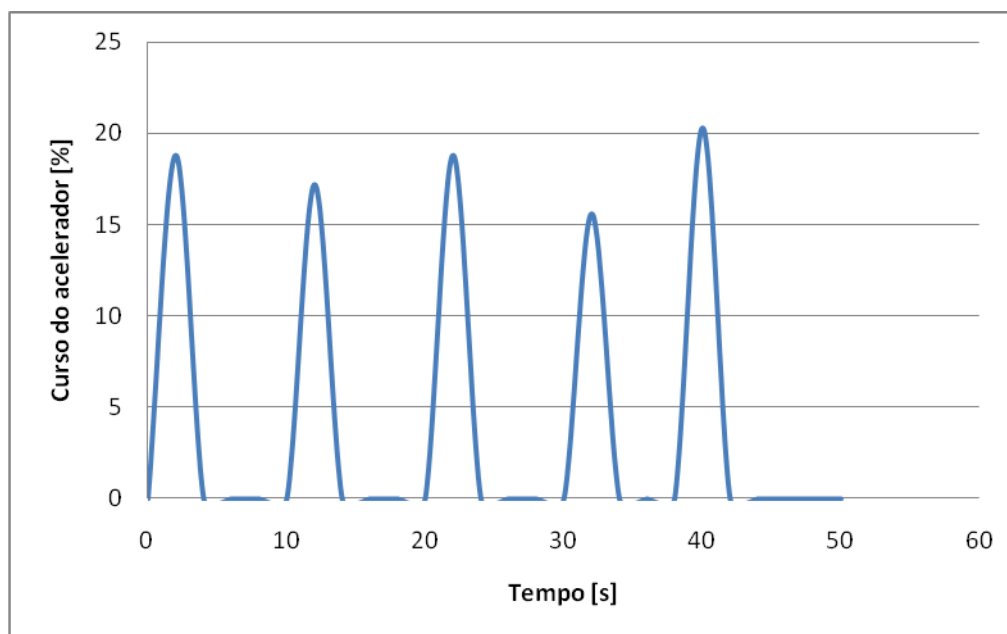


Figura 63: Exemplo de um perfil do curso do acelerador em alguns pára-arrancas curtos analisados.

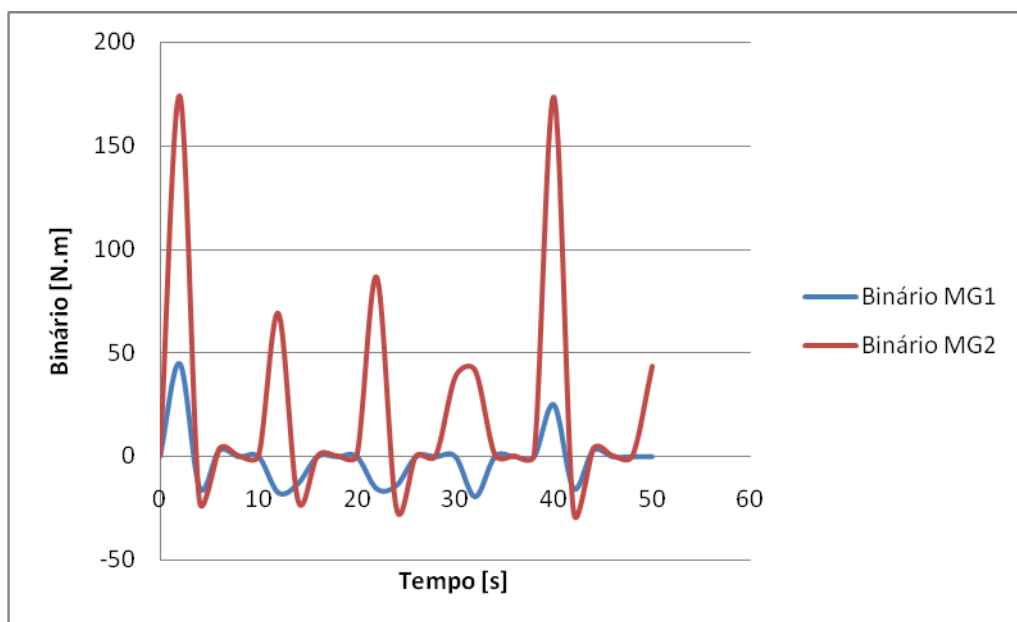


Figura 64: Binários dos motores eléctricos em alguns pára-arrancas curtos.

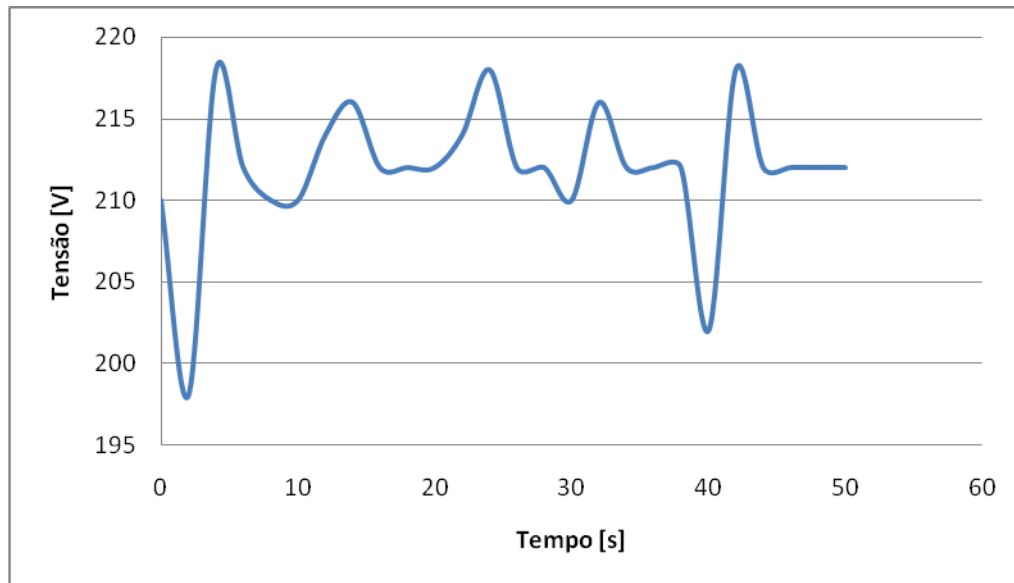


Figura 65: Tensão da bateria em alguns pára-arrancas curtos.

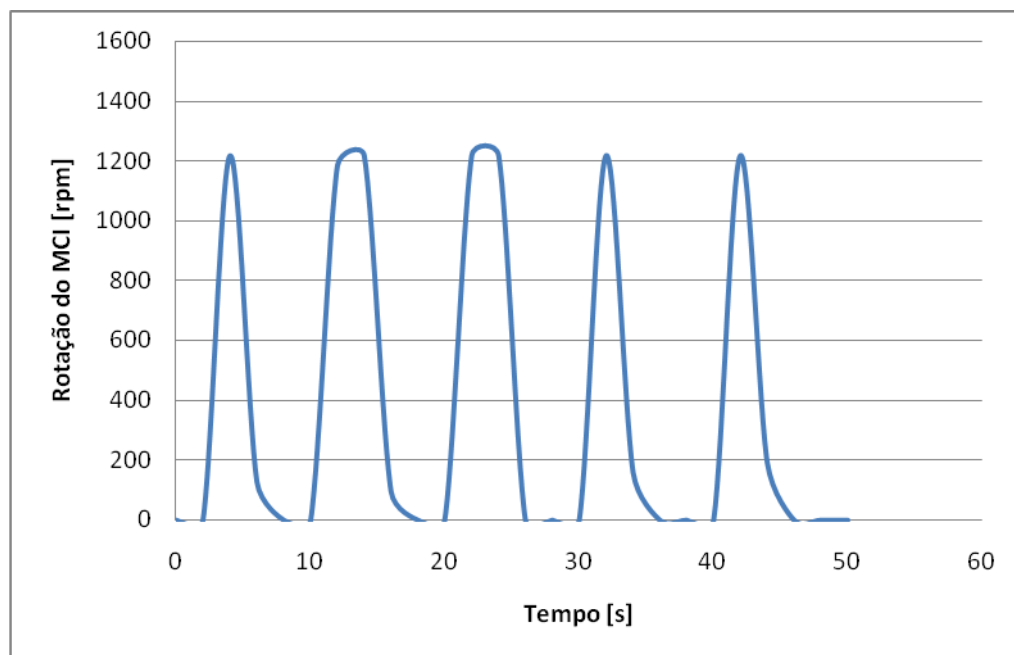


Figura 66: Perfil de velocidade do motor de combustão interna para alguns pára-arrancas curtos analisados.

7.4 Pára-arranca longo

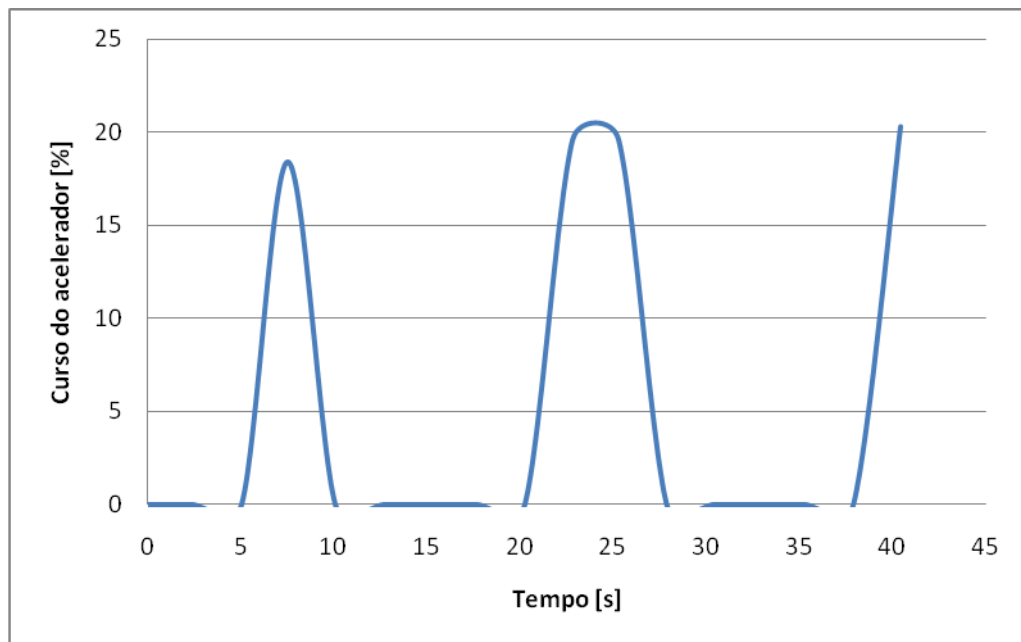


Figura 67: Exemplo de um perfil de curso do acelerador em alguns pára-arrancas longos analisados.

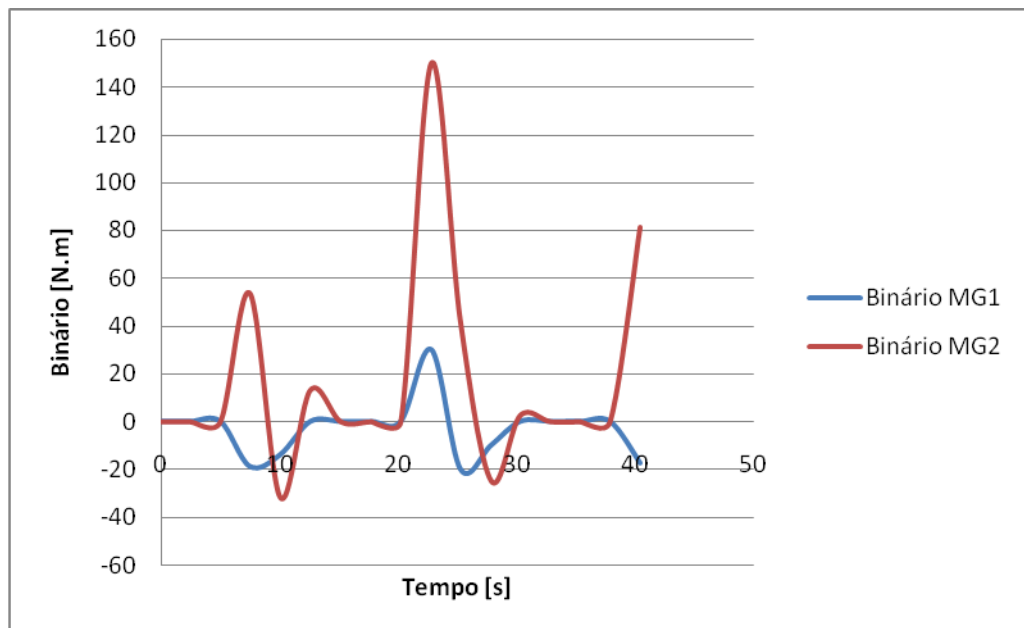


Figura 68: Binários dos motores eléctricos em alguns pára-arrancas longos.

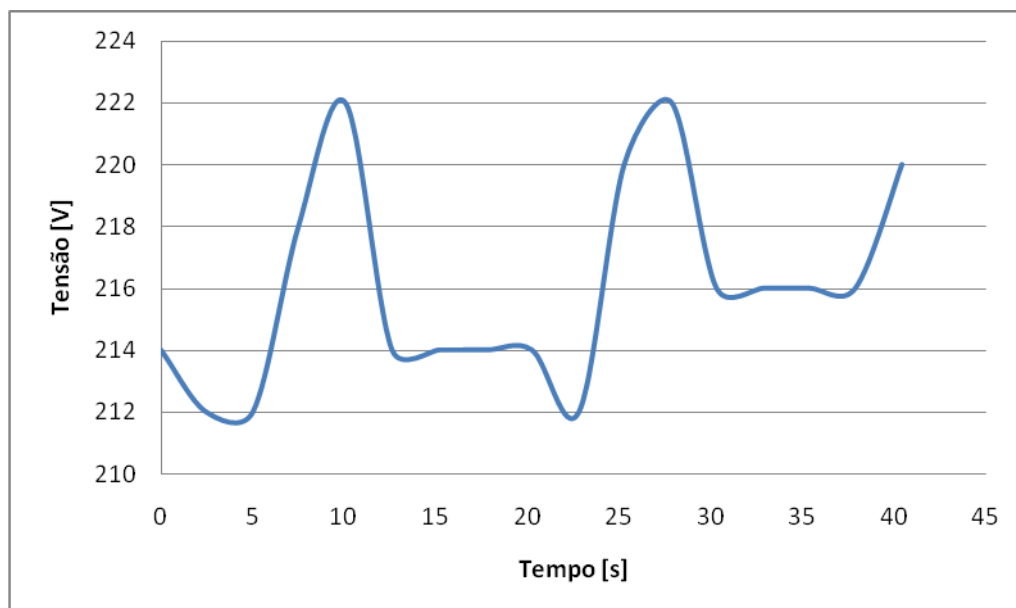


Figura 69: Tensão da bateria em alguns pára-arranca longos analisados.

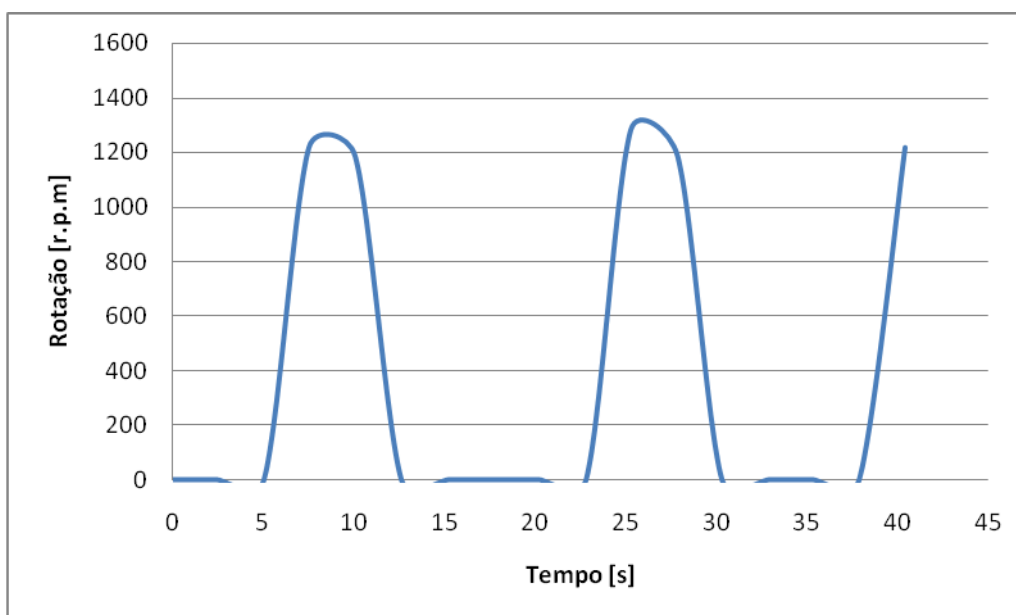


Figura 70: Perfil de velocidade rotação do motor de combustão interna para alguns pára-arranca longos analisados.

7.5 Ensaio para diferentes perfis de velocidade em estrada.

- **Velocidade de 50 km/h**

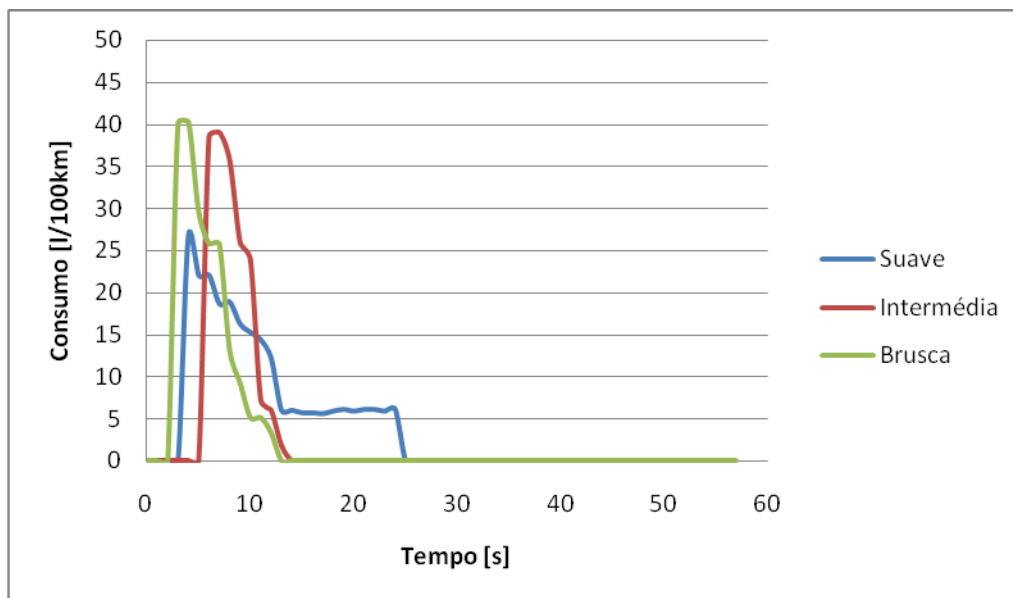


Figura 71: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 50 km/h

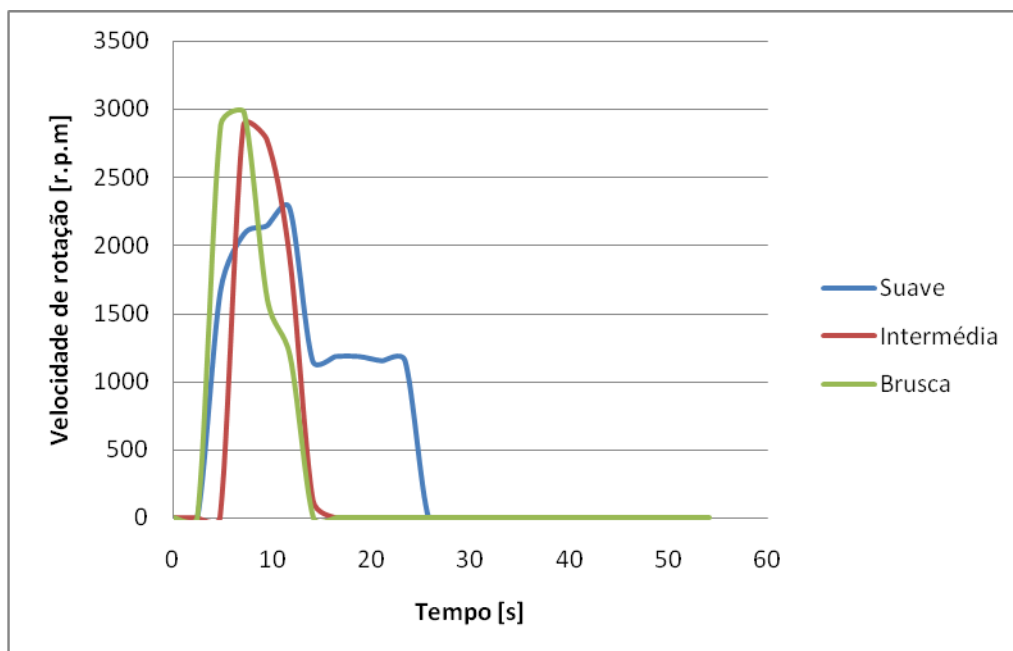


Figura 72: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h

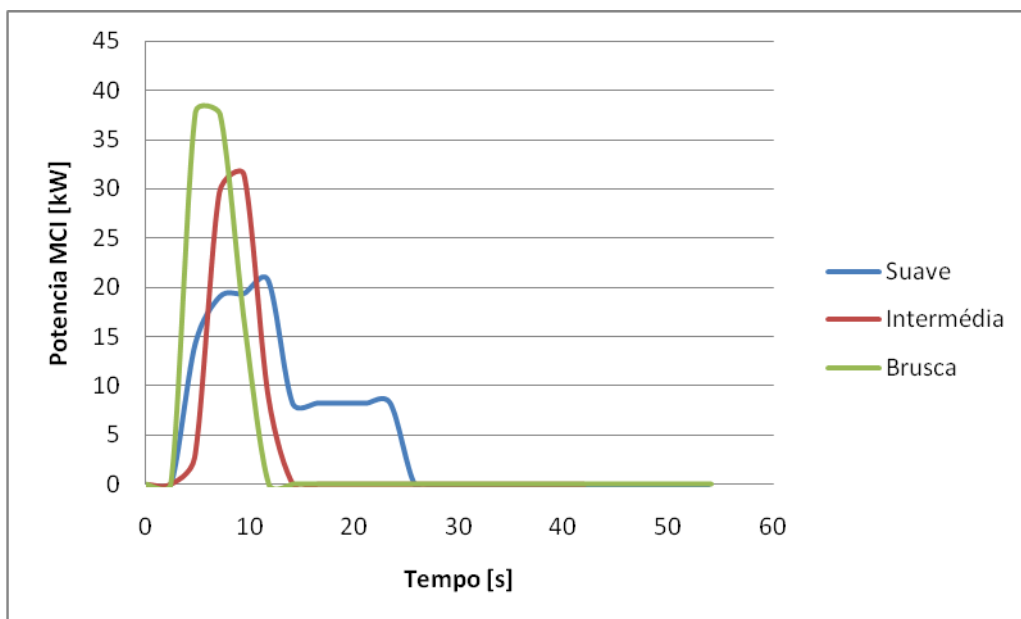


Figura 73: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h

- **Velocidade de 70 km/h**

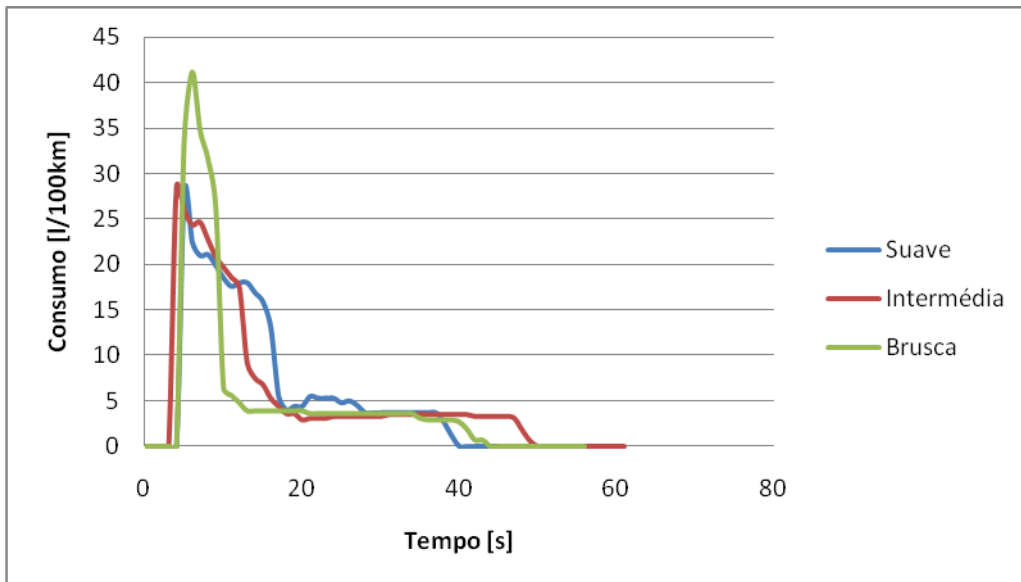


Figura 74: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 70 km/h

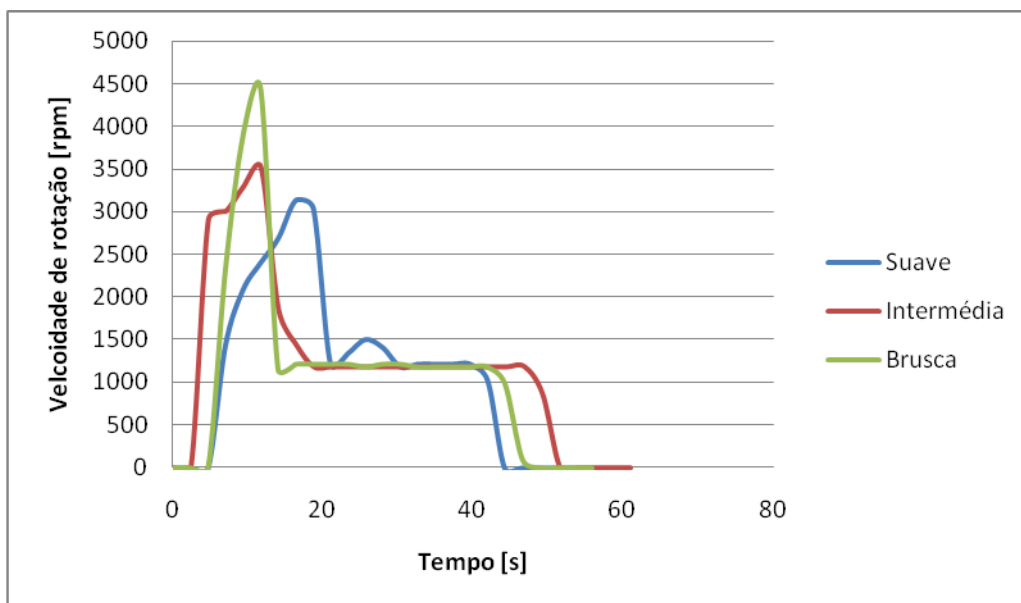


Figura 75: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h

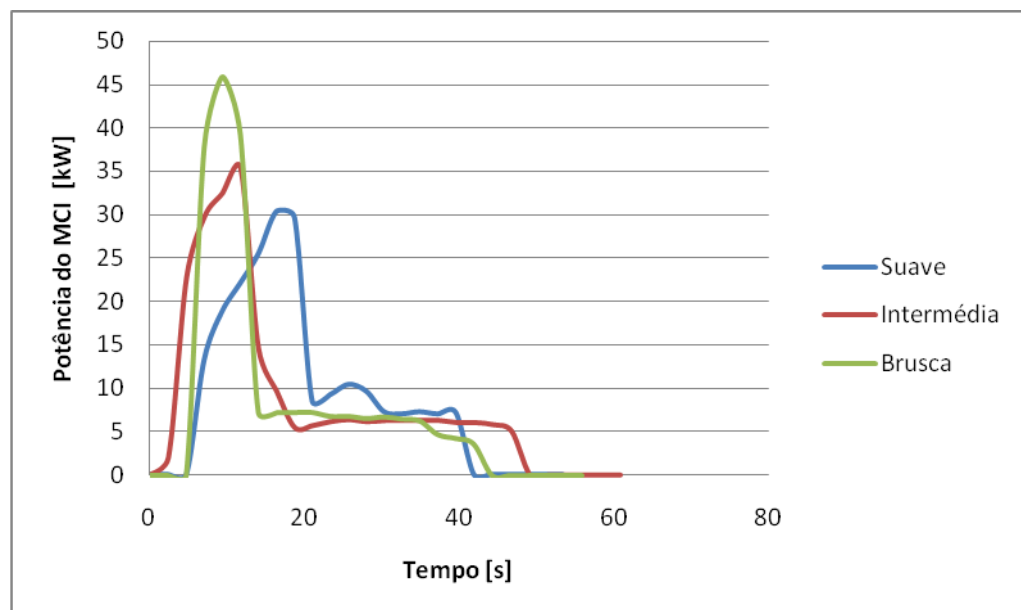


Figura 76: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h

- **Velocidade de 90 km/h**

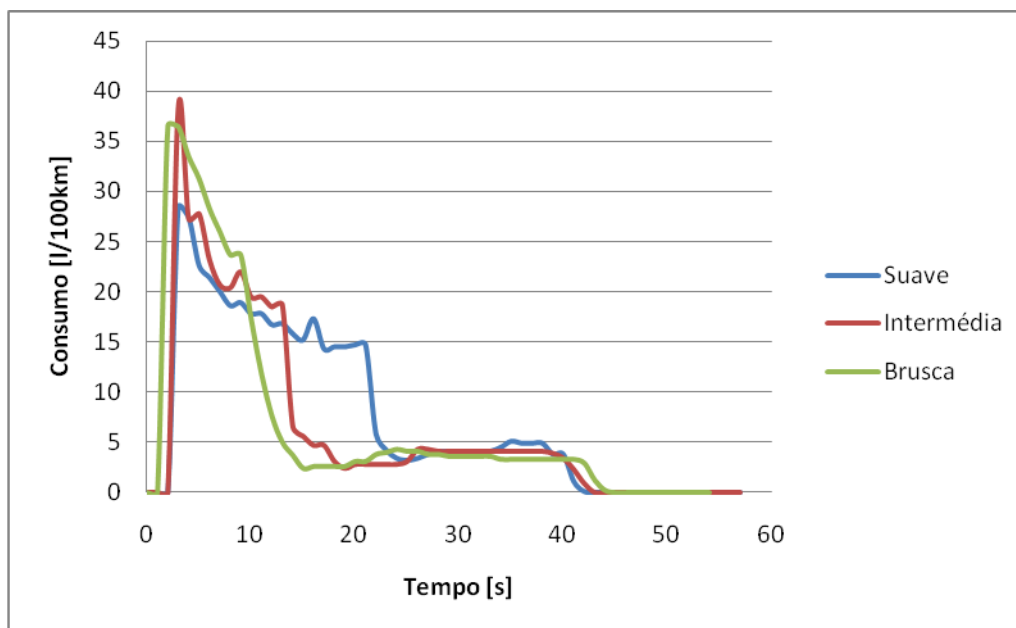


Figura 77: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 90 km/h

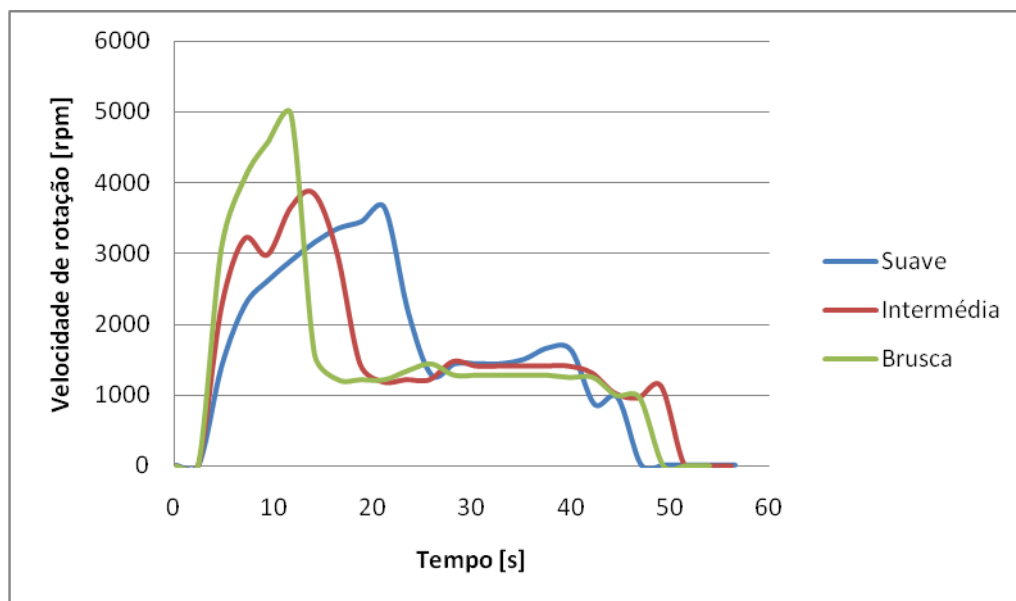


Figura 78: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h

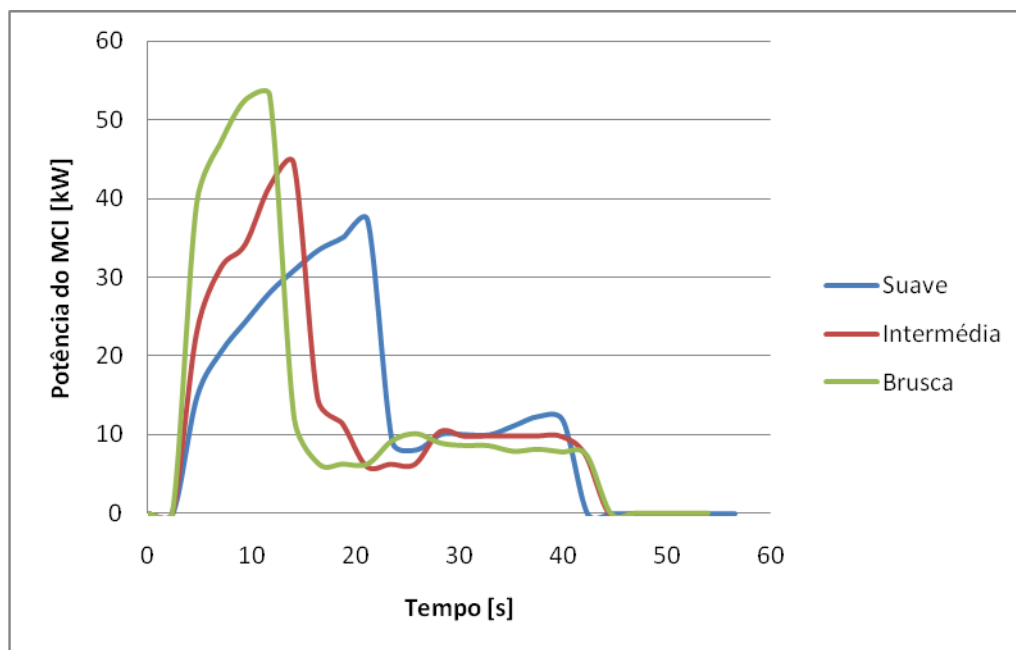


Figura 79: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h

- **Velocidade de 120 km/h**

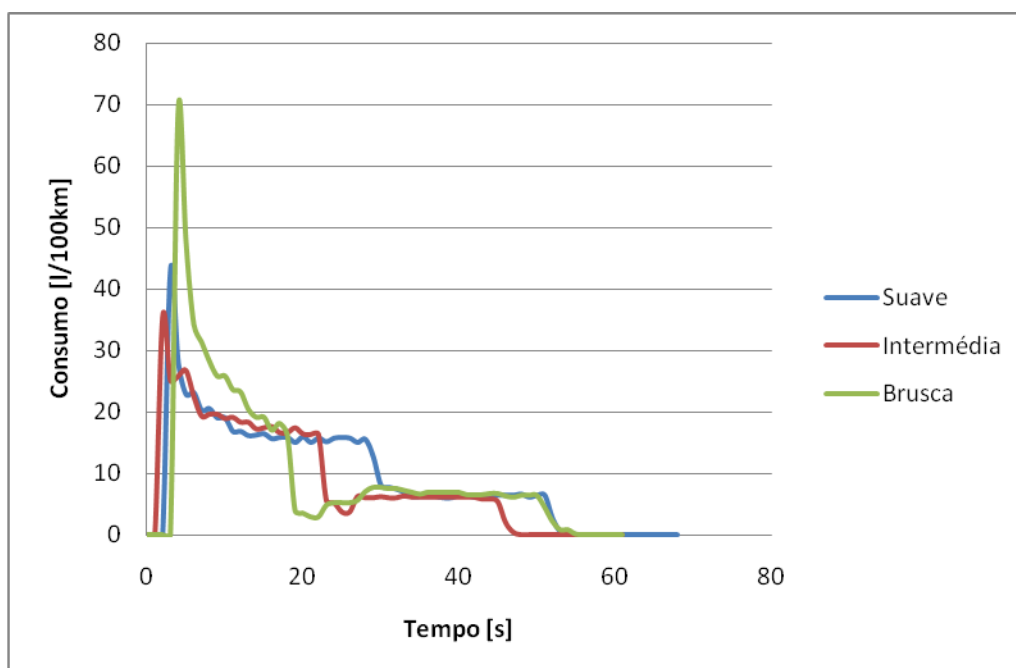


Figura 80: Consumo de gasolina em diferentes tipos de condução para 120 km/h

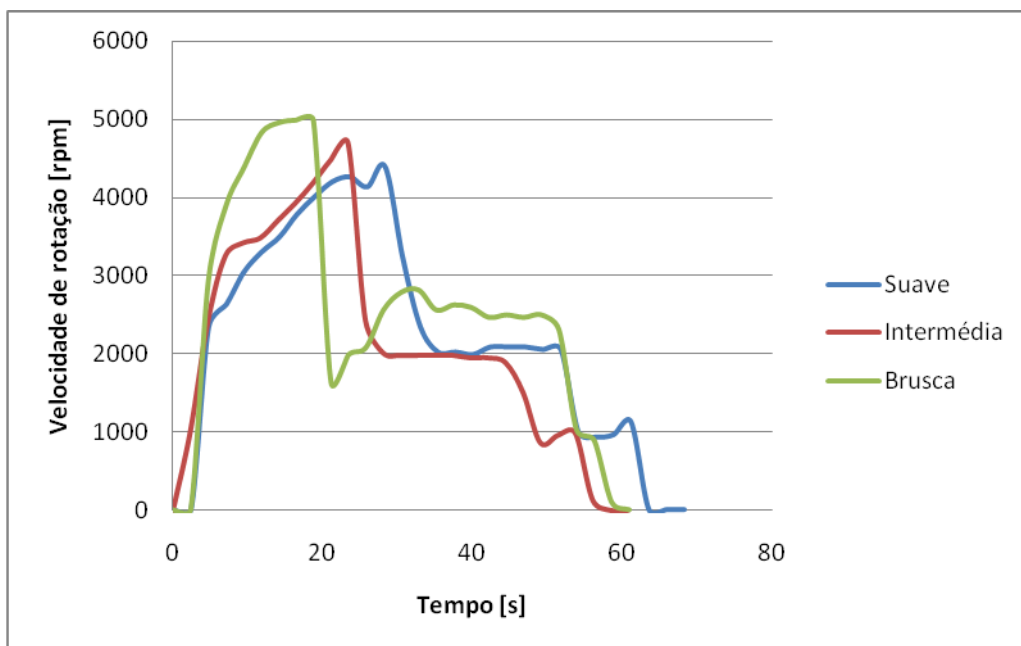


Figura 81: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h

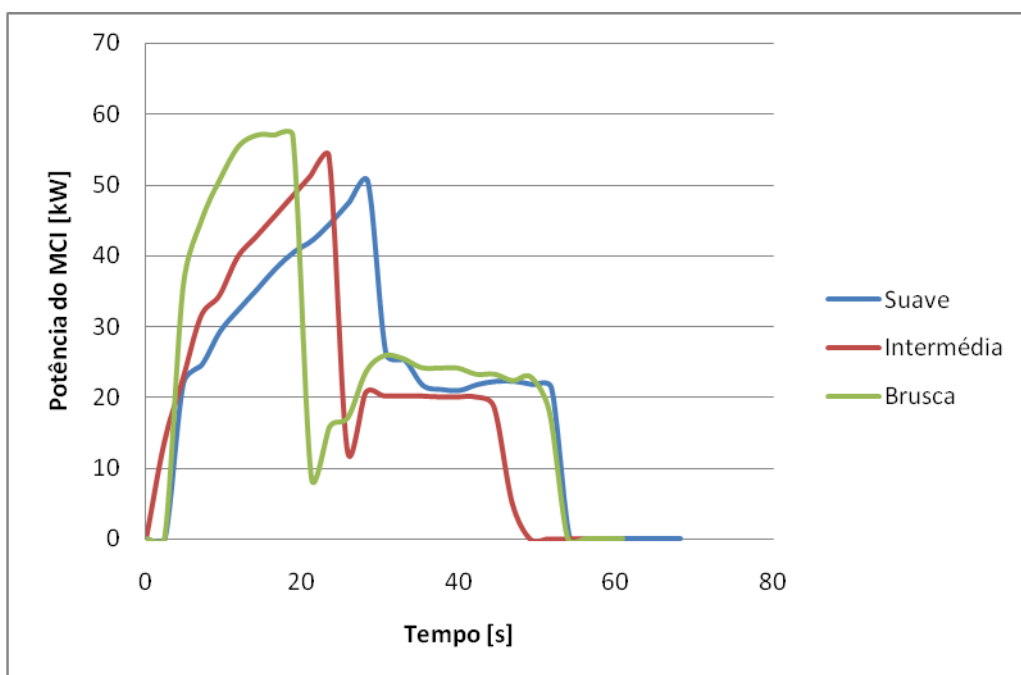


Figura 82: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.

- **Rotunda sem paragem à entrada**

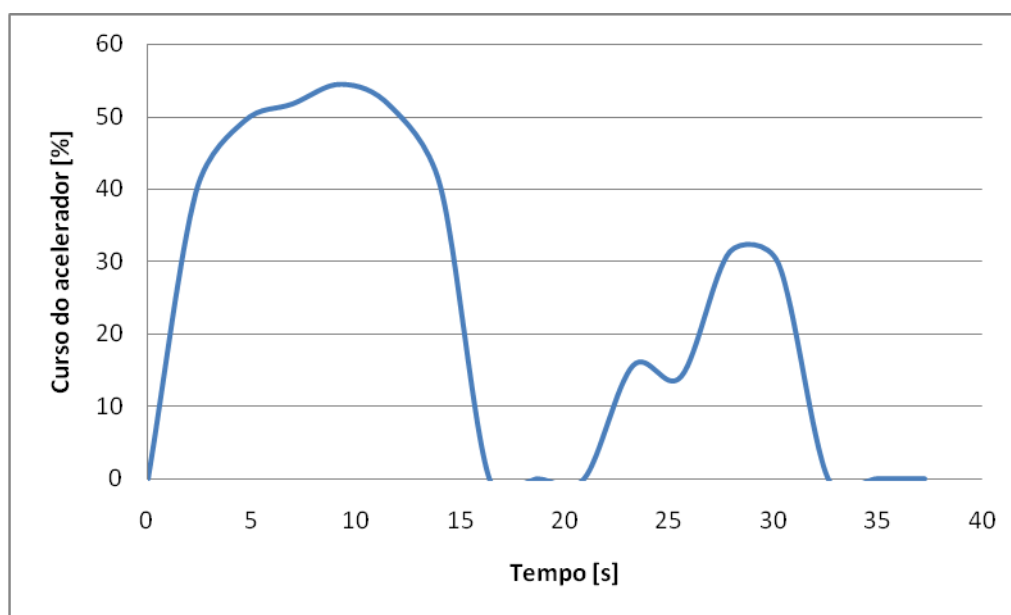


Figura 83: Exemplo do perfil de aceleração para um ensaio em rotunda sem paragem à entrada da mesma.

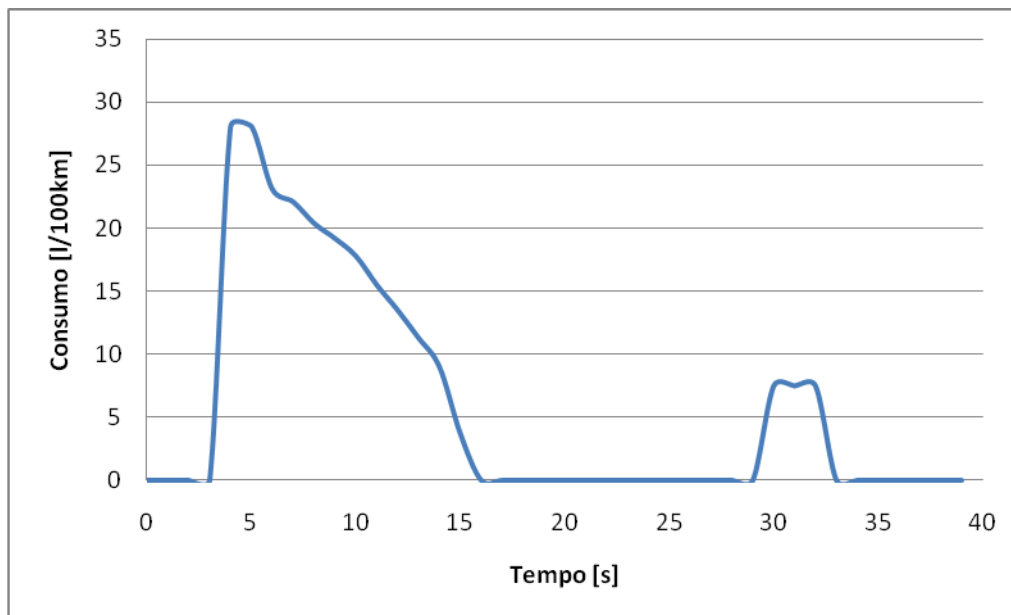


Figura 84: Exemplo do perfil de consumo para um ensaio em rotunda sem paragem à entrada da mesma.

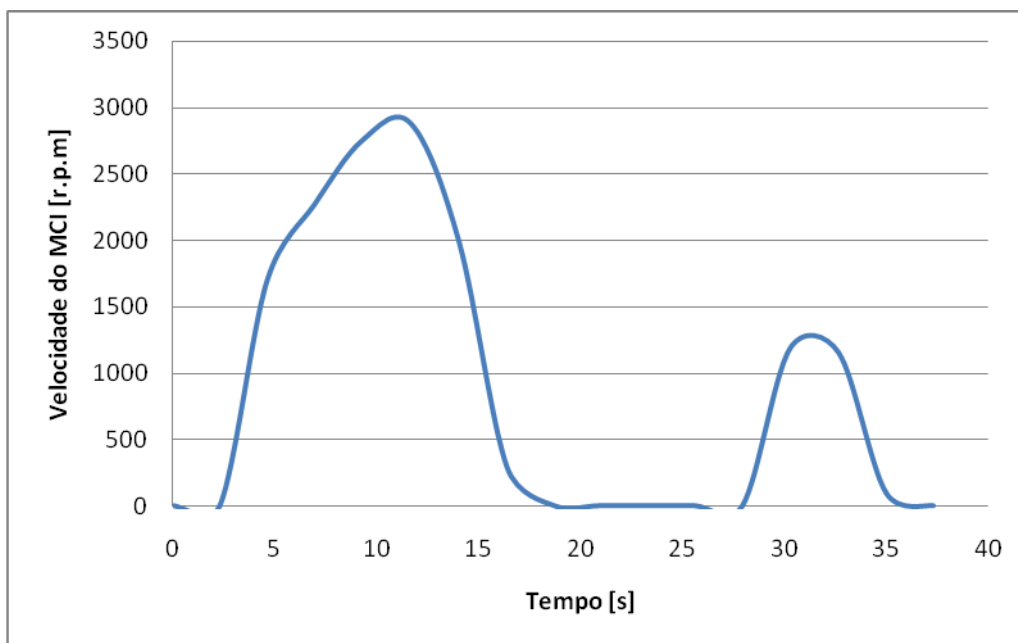


Figura 85: Exemplo do perfil de velocidade de rotação do MCI para um ensaio em rotunda sem paragem à entrada da mesma..

- **Rotunda com paragem à entrada**

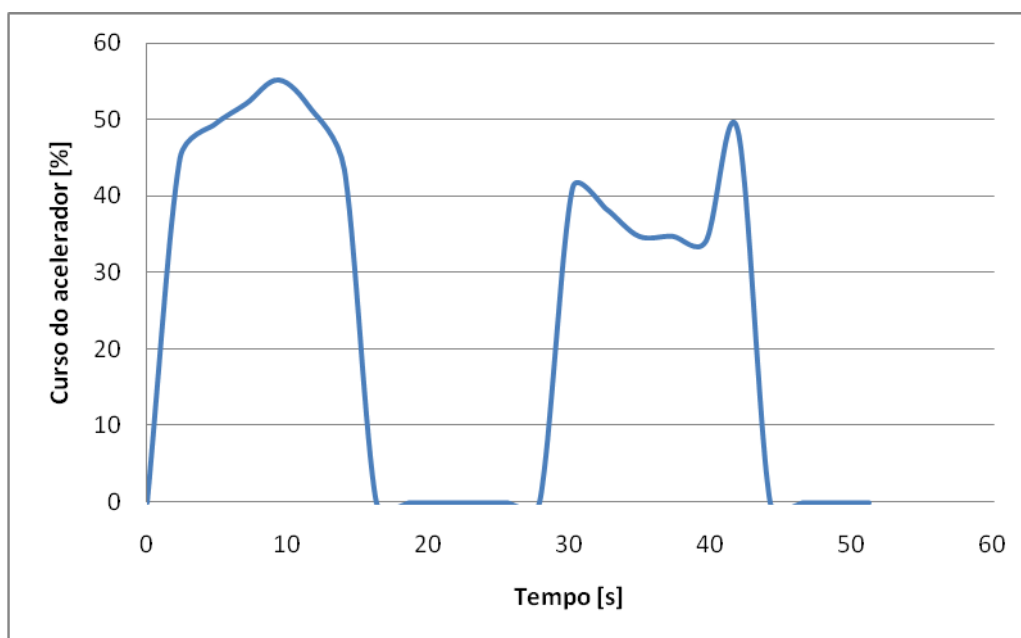


Figura 86: Exemplo do perfil de aceleração para um ensaio em rotunda com paragem à entrada da mesma..

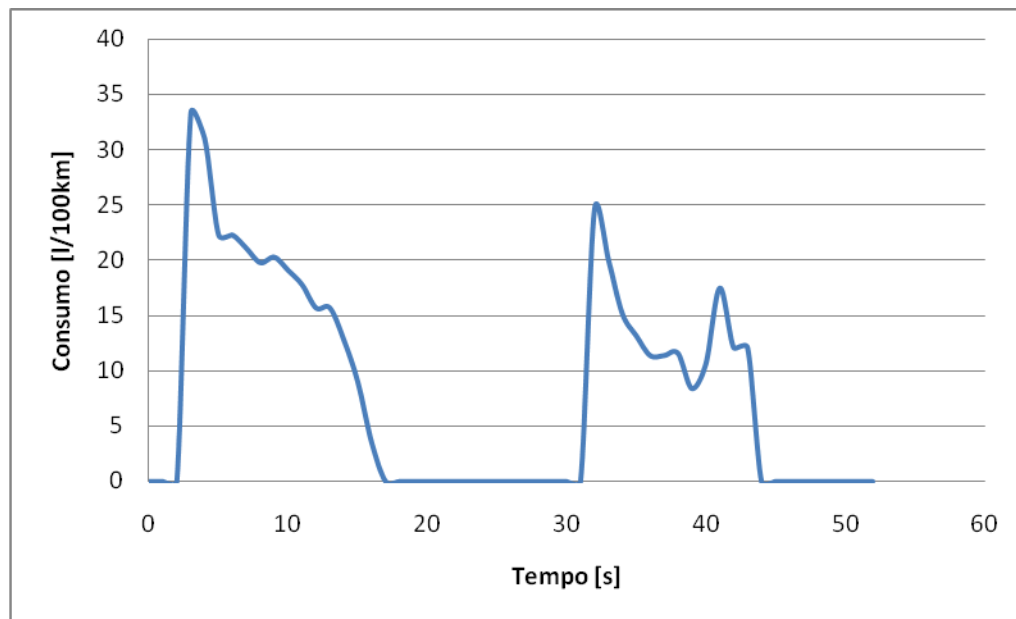


Figura 87: Exemplo do perfil de consumo para um ensaio em rotunda com paragem à entrada da mesma..

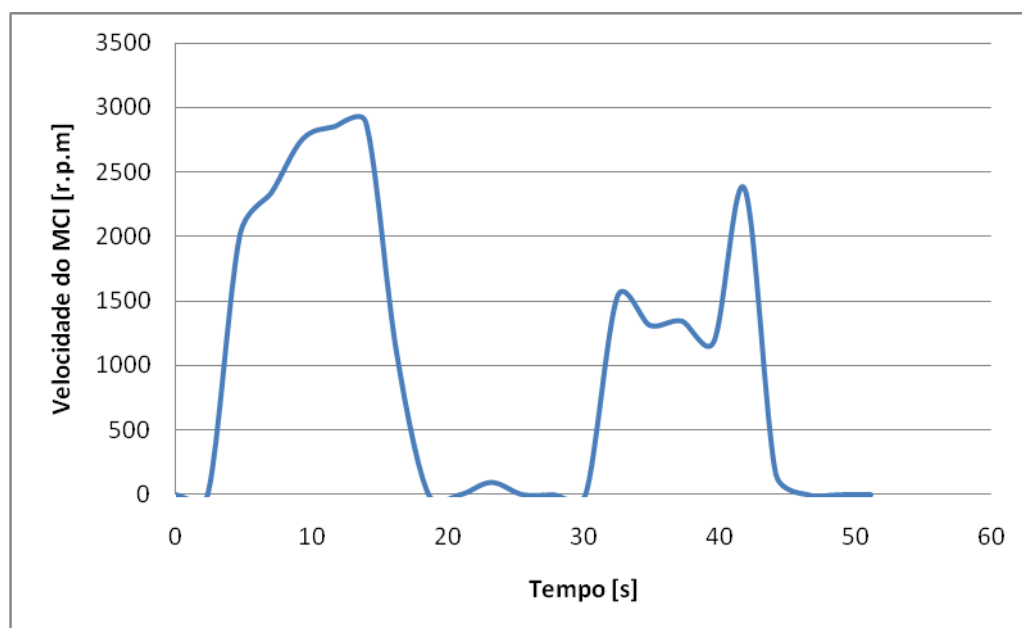


Figura 88: Exemplo do perfil de velocidade de rotação do MCI para um ensaio em rotunda com paragem à entrada da mesma.

- 120 km/h – 60 km/h – 120 km/h

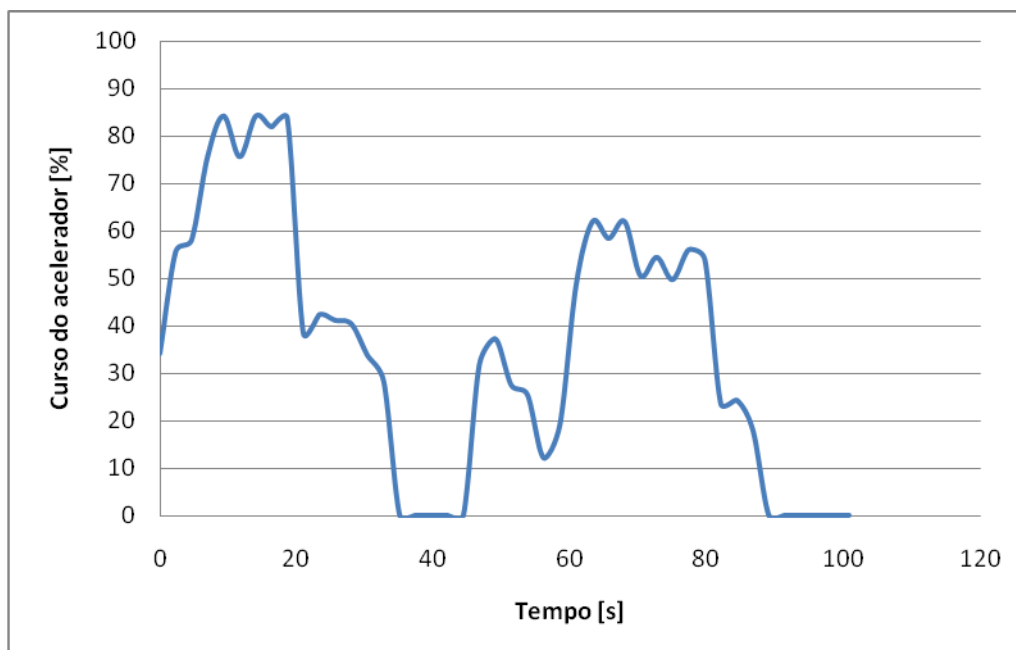


Figura 89: Exemplo do perfil de aceleração para um ensaio em 120 km/h - 60 km/h - 120 km/h.

7.6 Ensaios para diferentes perfis de velocidade em banco de rolos.

- 50 km/h

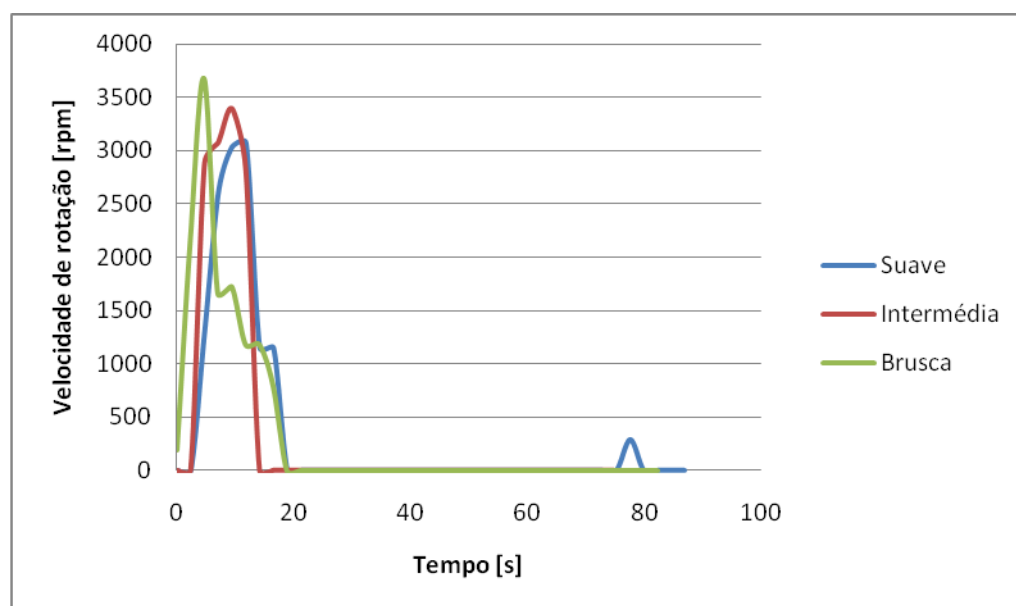


Figura 90: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h.

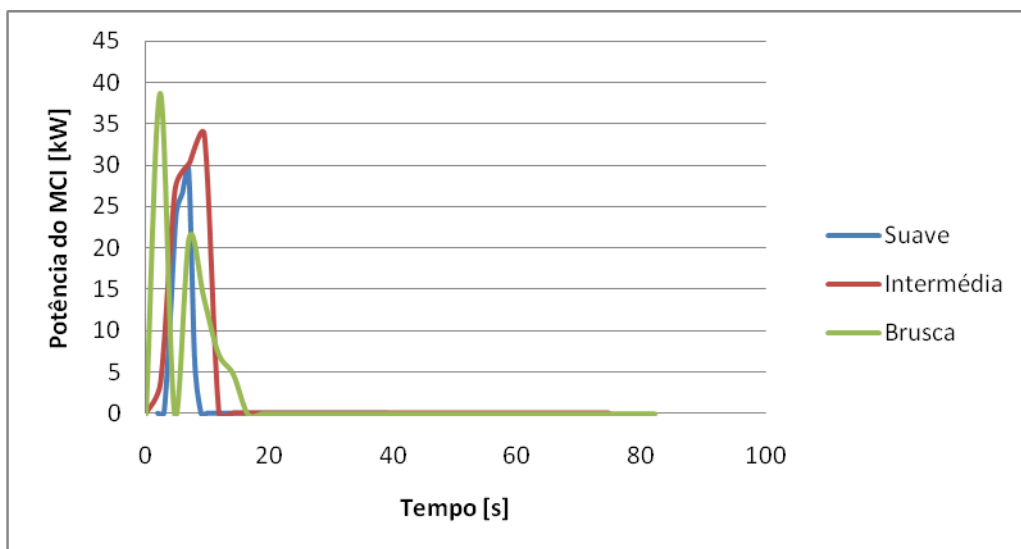


Figura 91: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 50 km/h.

- 70 km/h

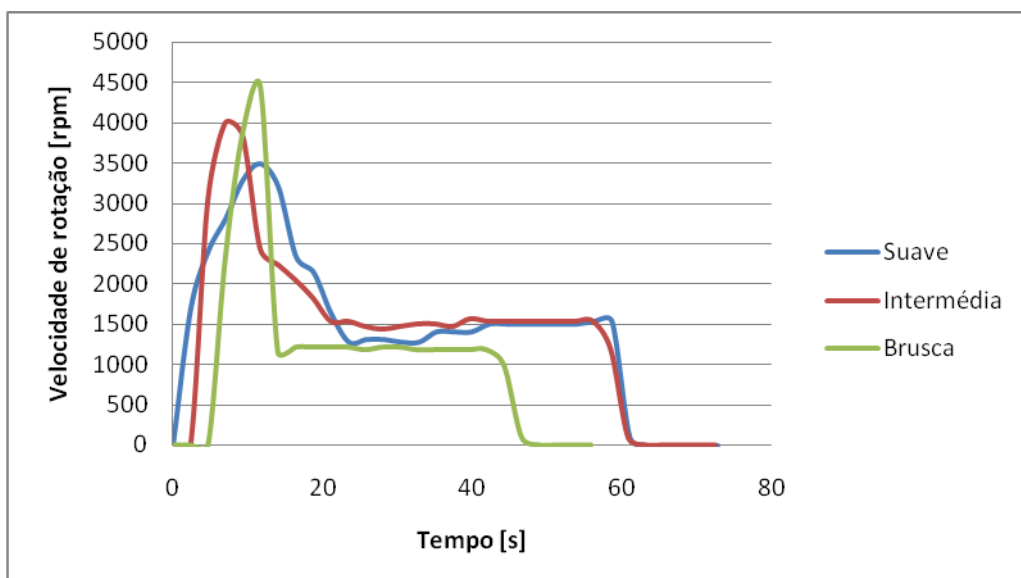


Figura 92: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h.

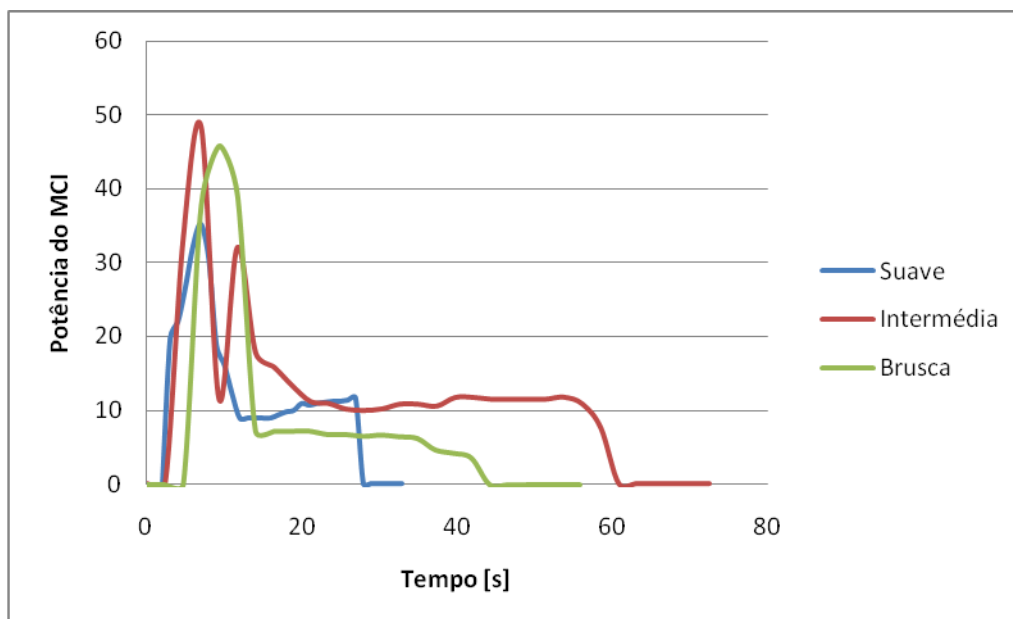


Figura 93: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 70 km/h.

- 90 km/h

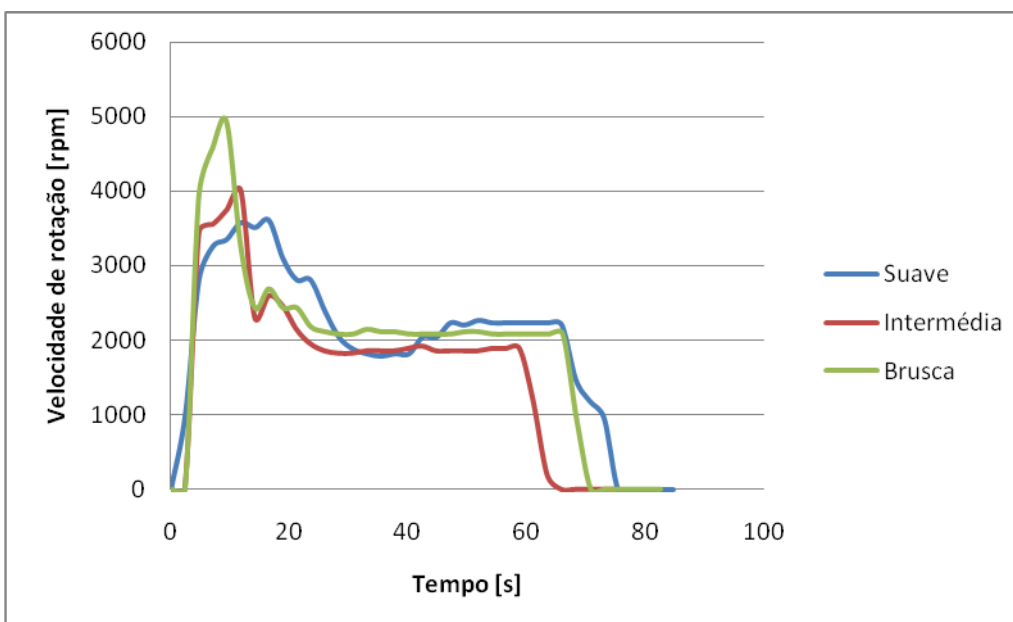


Figura 94: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h.

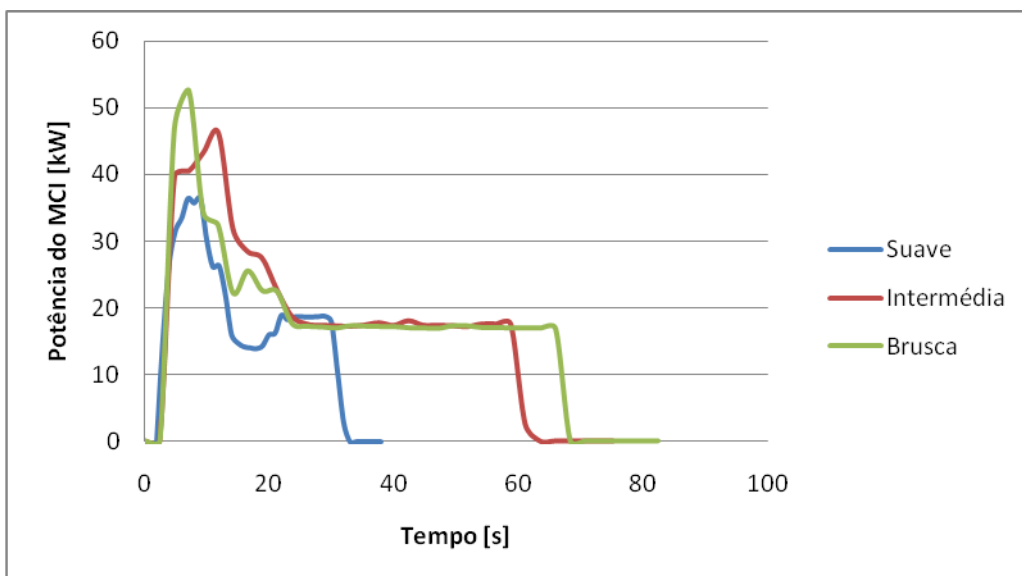


Figura 95: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 90 km/h.

- 120 km/h

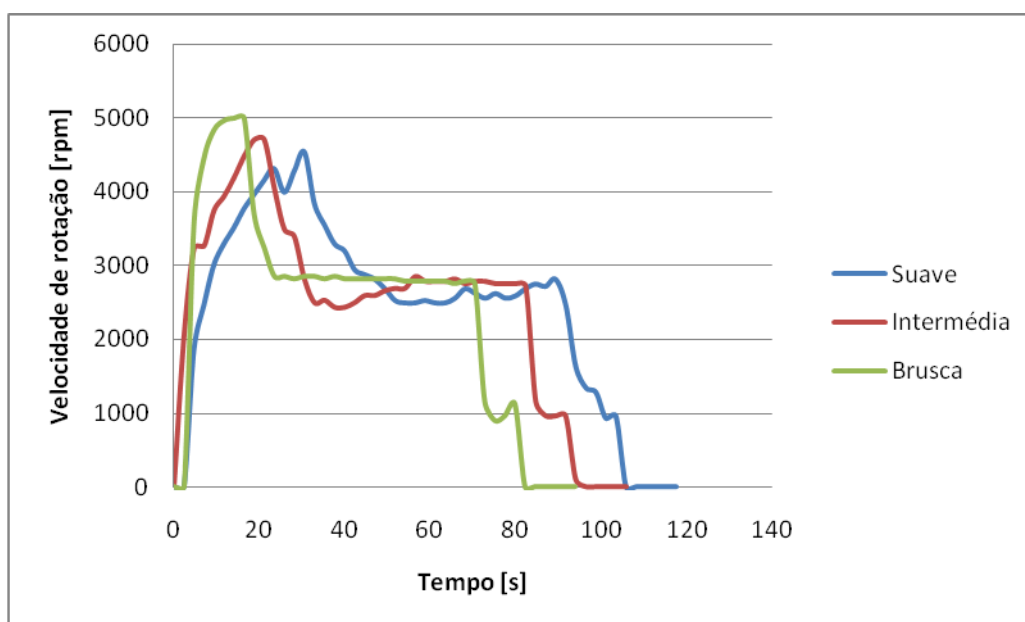


Figura 96: Velocidade de rotação do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.

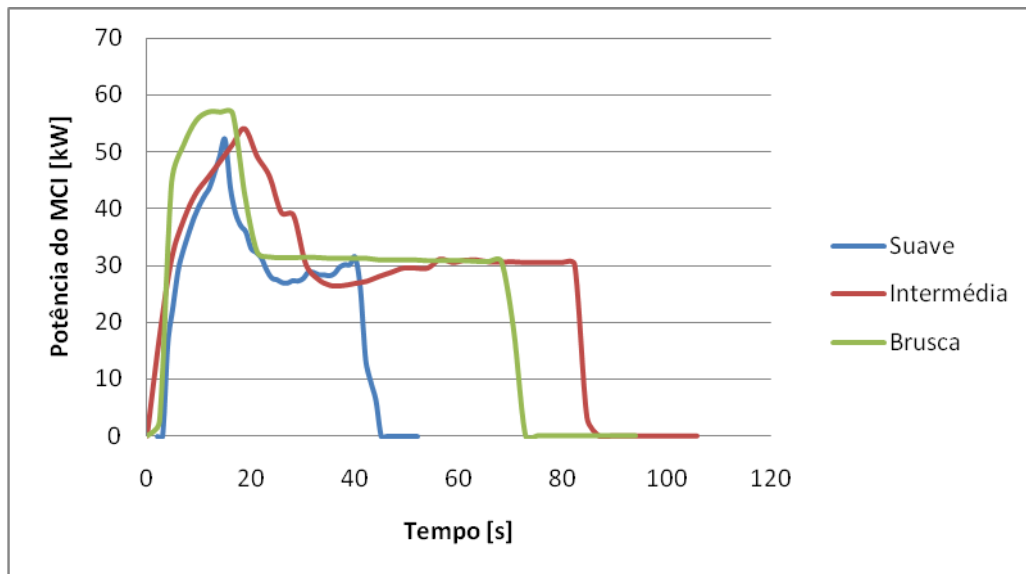


Figura 97: Potência do MCI em diferentes tipos de condução para 120 km/h.